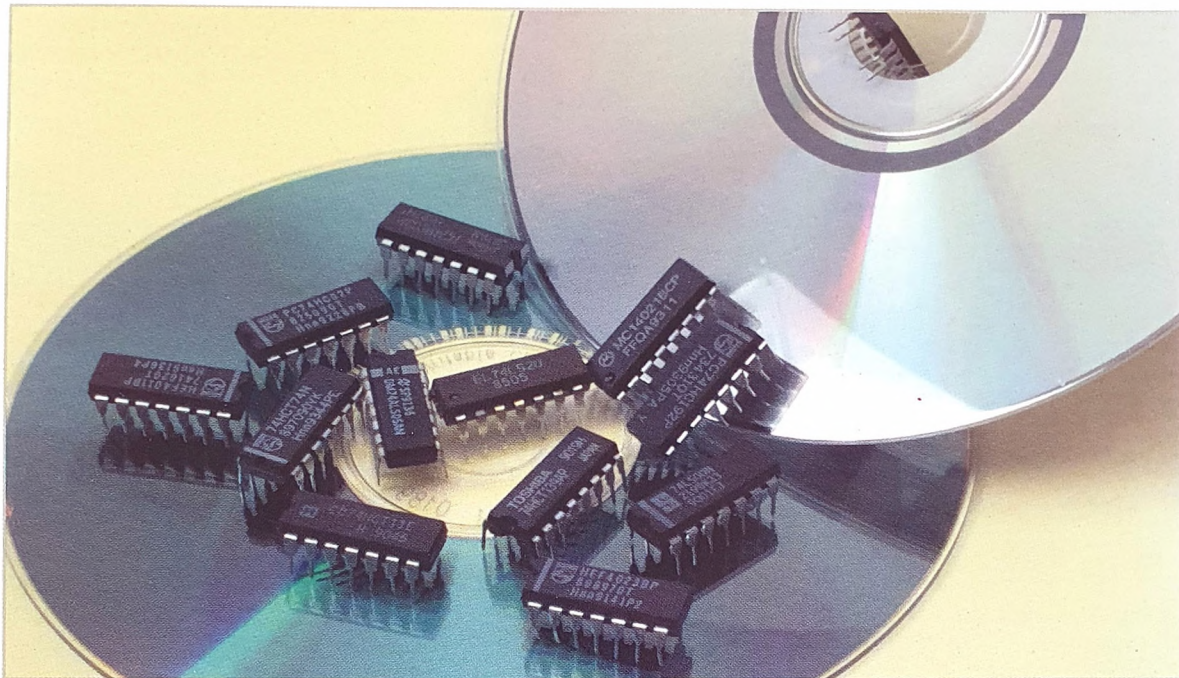
Funzioni digitali

I dispositivi digitali più semplici sono le porte logiche, che realizzano le funzioni essenziali.

Molti degli apparecchi che ci circondano sono digitali, soprattutto quelli informatici e di telecomunicazioni. Questi apparecchi sono molto complessi e per comprendere il loro funzionamento bisogna cominciare dai concetti basilari. Ci sono circuiti elettronici analogici e digitali, che si differenziano fondamentalmente nel tipo di segnali che utilizzano. Un segnale analogico può avere qualsiasi valore intermedio entro un determinato margine, per esempio il segnale che dà un microfono che sta captando voci, o quello di ogni tipo di rilevatori di segnali, come sensori di temperatura, umidità eccetera. Se analizziamo un segnale digitale vedremo che può avere solo due valori: "1" o "0", che corrispondono rispettivamente a un valore vicino alla tensione di alimentazione e allo zero di alimentazione; si utilizza il codice binario, che esamineremo più avanti.

Le funzioni di base sono: AND, OR NOT e XOR

Livelli digitali

Come abbiamo appena detto, tutti i circuiti digitali lavorano solo con due livelli di tensione, uno che riguarda la tensione di alimentazione ed è conosciuto come "1" e l'altro che è lo "0" che equivale a 0 V, il che non significa che non ammetta livelli intermedi, ma che distingue solo questi due valori per poter funzionare.

Realmente si definiscono tre zone: per circuiti TTL alimentati a 5 V, quando il segnale è superiore a 2 V all'entrata di una porta logica, o superiore a 2,4 V la sua uscita, si capisce che siamo di fronte a un 1 logico. Se la tensione è inferiore a 0,8 V all'entrata di una porta, o di 0,4 V all'uscita, capiamo che è uno zero. Bisogna evitare che il segnale sia nella banda intermedia di tensioni, poiché non sapremmo con certezza se il segnale è uno 0 o un 1 logico.

Famiglie

I circuiti logici si raggruppano in famiglie, che non sono altro che tutti i tipi di porte che hanno costituzione simile. Da questi dobbiamo togliere la famiglia TTL e CMOS. La prima ammette solo una tensione di 5 V, mentre la seconda ammette da 5 a 15 V. I livelli di tensione corrispondenti a "1" o allo "0" sono differenti nella famiglia TTL (con 5 V) e nella CMOS (con 9 V), che è quella con cui lavoreremo nei nostri esperimenti. Proseguendo esamineremo le funzioni essenziali.

Funzioni digitali

E1	E2	S
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

E1	E2	S
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

E1	S
0	1
1	0

E1	E2	S
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Porte di base.

Porta AND

La funzione logica AND, tradotta "E", perché un'entrata e l'altra devono essere "1" perché l'uscita sia un "1". Questa porta logica è quella che realizza il prodotto logico S=E1*E2, cioè, una moltiplicazione logica fra due numeri logici che sono nelle entrate E1 e E2. Questa operazione è abbastanza diversa da quella con i numeri decimali che conosciamo, però coincide. Possiamo provare che moltiplicando i valori di E1 e E2, quando uno è "0" l'uscita è "0".

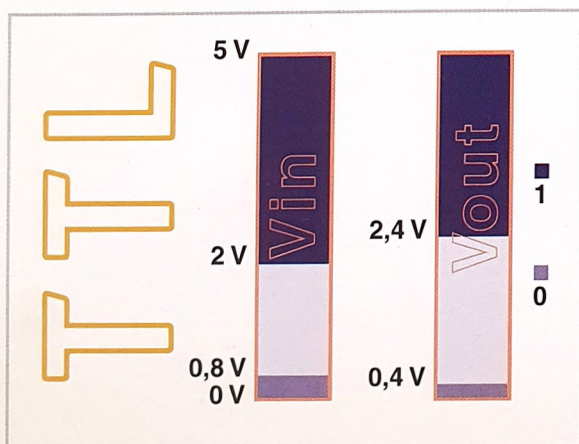
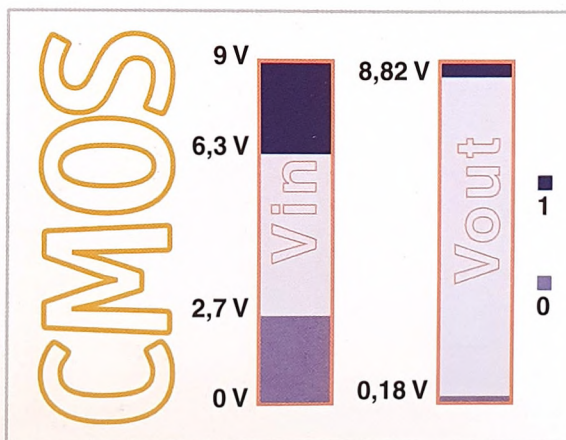
Porta OR

Questa funzione logica, funzione "O", perché l'uscita sarà "1" quando una o l'altra entrata sia "1" o entrambe. Questa porta è quella che realizza la somma logica di due numeri binari, S=E1+E2, e benché differente vediamo che ha una certa relazione con la nostra somma, poiché la somma di 0+0 dà zero e la somma di qualcosa a "0" ci darà qualcosa che in questo caso è "1".

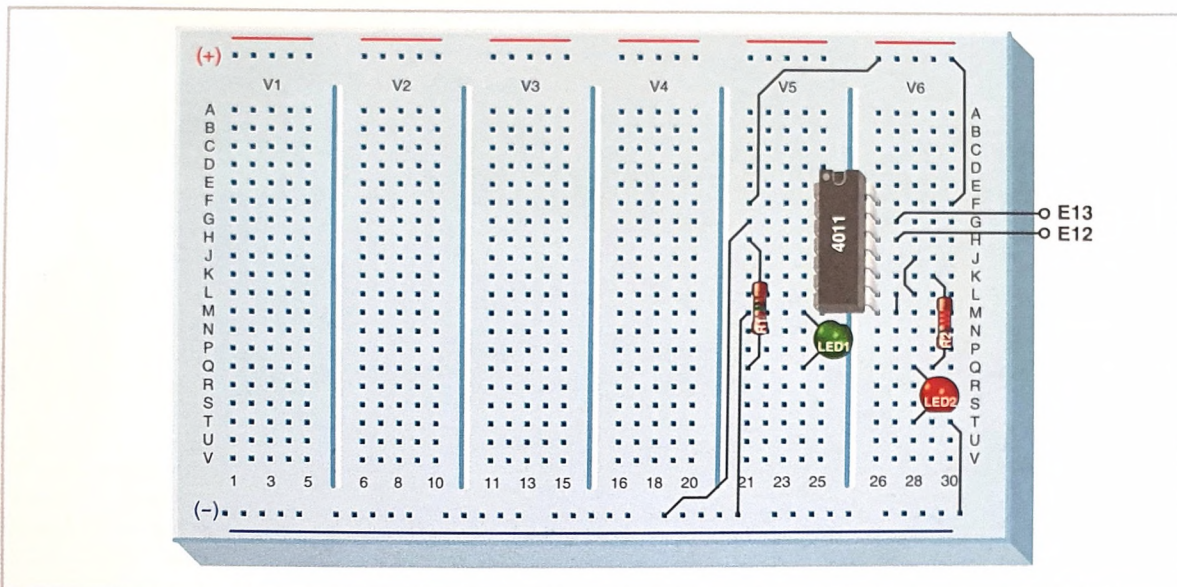
Porta invertitore

Questa funzione logica, come indica il suo nome, inverte nella sua uscita il valore dell'entrata. Il suo simbolo è un triangolo con un cerchio sulla punta (vedi figura in alto), che è quello che ci indica l'inversione. La rappresentazione di questa funzione è S=/E.

Porta OR-Esclusiva (XOR)

La funzione che risponde a questo nome è quella la cui uscita è un "1" quando "soltanto" una delle sue uscite è un "1", e uno zero quando le entrate hanno gli stessi valori. Questa funzione è chiamata comparazione, poiché si utilizza in questa. La funzione che rappresenta viene indicata con S=(E1+E2)*(/E1+/E2). Per ridurre questa espressione si utilizza il segno più (+) dentro un cerchio tra le due variabili di entrata.

Limiti di tensione per i livelli 1 e 0 logici in porte TTL.

Limiti di tensione per i livelli 1 e 0 logici in porte CMOS.

Quadrupla porta NAND

Il circuito integrato 4011 ha al suo interno quattro porte NAND con due entrate ciascuna.

E' molto facile realizzare e verificare montaggi pratici utilizzando circuiti integrati logici. Pertanto, si possono fare esperimenti con questi senza alcun problema. È buona regola provare i circuiti integrati prima di inserirli nei montaggi. Andiamo a iniziare il nostro cammino nell'elettronica digitale con un circuito integrato della famiglia CMOS, il 4011, che contiene 4 porte NAND, le quali non sono che porte AND seguite da un invertitore (vedere cerchietto in uscita). Questa famiglia di circuiti ammette un grande margine di tensione di alimentazione, tra 5 e 15 V, il che la rende molto adatta per i nostri progetti, si può alimentare a 9 V, tensione scelta per il nostro laboratorio.

I circuiti con porte logiche si verificano facilmente

Identificazione

Prima di iniziare l'esperimento bisogna conoscere alcune caratteristiche del circuito integrato. Se lo guardiamo ha l'aspetto di uno scarafaggio, parola dello slang elettronico, con 14 piedini, disposti in due file parallele e opposte. Verificheremo che hanno stampato il numero 4011, benché prima e dopo ci siano molte lettere. bisogna identificare il piedino numero 1. Se osserviamo il corpo dell'integrato, in uno dei due lati stretti ha una scanalatura, che collocheremo di fronte a noi verso il lato sinistro, in questo modo, guardandolo di fronte, il piedino 1 sarà il primo in basso a sinistra; contando a partire da qui tutta la fila in basso arriveremo alla numero 7 e saltando a quella di fronte ci sarà la numero 8 e le seguenti nella fila in alto, in modo che l'ultimo piedino, il primo di sinistra della parte superiore, sarà il piedino 14. Alcuni circuiti al posto di una scanalatura hanno un piccolo circolo leggermente sprofondato sull'estremità del piedino 1. Se osserviamo l'integrato e guardiamo lo schema della pagina seguente non avremo dubbi.

Distribuzione di terminali

Una volta che abbiamo imparato a localizzare ogni terminale dobbiamo andare allo schema interno dell'integrato per sapere a che cosa corrisponde ognuno di essi. In questo caso ci sono entrate e uscite di porte logiche e due terminali di alimentazione, uno che si deve collegare a 0 V, terminale 7, e l'altro a 9 V, terminale 14. Non si devono mai realizzare collegamenti alla cieca, senza disporre dello schema, perché oltre a perdere tempo, corriamo il rischio di distruggere la porta e l'integrato.

Preparazione

Per la prova dobbiamo disporre di "uno" e "zero" da applicare all'entrata di ogni porta e inol-

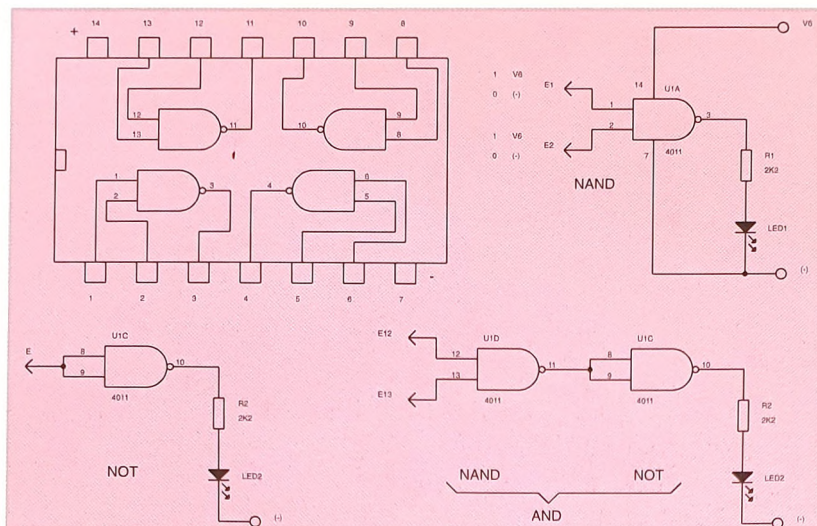
Quadrupla porta NAND

COMPONENTI	
U1	Circuito integrato 4011
R1, R2	Resistenza 2K2
LED1	Diodo LED verde
LED2	Diodo LED rosso

TAVOLA LOGICA PORTA NAND

E1	E2	S
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

tre dovremo verificare se l'uscita è "uno" o "zero" per le quattro possibili combinazioni all'entrata. Per applicare un "uno" all'entrata di una porta basta unirla all'alimentazione (+9V), segnata sulla piastra dei prototipi come V6, con un cavetto; al contrario se vogliamo applicare uno "zero" dobbiamo collegare il cavo al negativo dell'alimentazione, segnato sulla piastra come (-). Per verificare se all'uscita ci sia un "uno" o uno "zero" dovremo solo collegare all'uscita una resistenza di 2K2 in serie con un diodo LED, portando il catodo di quest'ultimo al negativo dell'alimentazione.

L'esperimento

Per provare l'integrato 4011 si inseriscono i suoi terminali nella piastra dei prototipi, in entrambi i lati di una delle fessure più larghe, si alimenta collegando il positivo di alimentazione, segnato (V69) sulla piastra, al piedino 14 del circuito integrato, e il negativo (-) al piedino 7.

Realizzazione pratica del circuito di prova della porta NAND e della porta AND.

Il piedino corto del diodo LED lo collegheremo al negativo (-) e la più lunga a una resistenza di 2K2 (rosso, rosso, rosso), l'altro estremo di questa resistenza si deve collegare all'uscita di ogni porta, cioè ai terminali 3, 4, 10 e 11. Mentre è collegato a una uscita si applica "uno" o "zero" a ogni entrata e si osserva lo stato dell'uscita, che se è "uno" si manifesta con l'illuminazione del diodo LED. Osserviamo la tavola logica per vedere se questo avviene.

Se non succede, l'integrato è guasto, oppure siamo noi che sbagliamo la prova. Ci assicureremo in ogni momento di applicare i due valori di entrata 1=9 V, segnato 6 V, oppure 0=0 V, segnato (-), nelle entrate, e mai in uscita, poiché potremmo danneggiare il circuito integrato.

Porta invertitore

Se uniamo le due entrate di una delle porte otterremo una porta invertitore (NOT). Se applichiamo "uno" all'entrata, il LED collegato all'uscita si spegnerà e viceversa.

Porta AND

La porta NAND è una porta AND+NOT, cioè, la porta AND con l'uscita invertita. Disponendo di una porta NAND, che unendo le due entrate diventerà una porta invertitore NOT, se la colleghiamo in serie con una NAND otterremo una AND. Possiamo collegarle di seguito e verificare la tavola logica di una porta AND.

Il codice binario

È il sistema di numerazione che utilizzano i circuiti e i sistemi digitali.

Tanto nelle funzioni logiche come nell'elettronica a grande scala, i valori ammessi sono solo due l'"1" e lo "0", da qui deriva il nome, perché bi=2. Nella parte logica si tende a lavorare con questi valori spaiati, ma nella digitale si raggruppano formando parole. Con il sistema binario possiamo rappresentare qualsiasi numero. Il modo di formare i numeri è uguale a quello del sistema decimale.

Il codice binario ammette solo due valori "1" e "0"

Con il sistema decimale possiamo rappresentare dieci numeri e se vogliamo rappresentare un numero superiore a 9, dobbiamo utilizzare due numeri. Nel sistema binario avendo due numeri diversi, possiamo solo rappresentare due numeri usando una cifra, se vogliamo rappresentare quattro numeri, dobbiamo usarne due. Se utilizziamo tre cifre, possiamo rappresentarne fino a otto e così via.

Raggruppando bits

Dunque potremo sapere in ogni momento quante cifre, chiamati anche bits, dobbiamo raggruppare per poter avere un numero di combinazioni diverse, basta applicare la regola:

N° di combinazioni = 2^n, essendo n = n° di bits.

Cioè ogni volta che si aggiunge una cifra si moltiplica per 2 la quantità di numeri che si possono rappresentare. In questo modo, con 8 bits, possiamo rappresentare 256 numeri e con 10 bits fino a 1.024. I raggruppamenti di bits si fanno sempre di 8, 16, 32 e 64 bits. L'unità di base è 8 bits, che è quella che forma 1 byte, e 16 bits è 1 word o parola. Questi valori sono i più standard perché sono quelli che utilizzano i microprocessori dei computer nei loro canali di dati e direzioni. La differenza fra un computer di 16 bits, come i vecchi AT, e altri di 32, come gli attuali, è che gli ultimi possono lavorare con raggruppamenti di bits (uno e zero) maggiori, per cui la loro potenza di calcolo è maggiore.

La stessa denominazione è quella che si utilizza nelle video-console di 32 o 64 bits.

Lavorando in binario

Con un raggruppamento di 4 bits avremo il doppio di possibili combinazioni che con 3. Dobbiamo dire che il bit collocato più a destra è denominato bit meno significativo. LSB (Least Signifi-

Il codice binario

Con quattro bits si possono rappresentare 16 numeri decimali, dallo 0 al 15. Il codice BCD si applica solo per quelli che corrispondono ai numeri decimali dallo 0 al 9.

cative Bit), mentre quello di sinistra è il più significativo, MSB (More Significative Bit). Se utilizziamo solo 4 bits, ma li abbiamo solo da 0 (0000) fino a 9 (1001), lo chiamiamo codice BCD.

Passo da binario a decimale

Per passare da binario a decimale si scrive il numero in binario e si mette sopra ogni cifra il suo peso corrispondente, cioè, quello situato più a destra ha peso 1, il seguente ha peso 2, e gli altri: 4, 8, 16, 32, 64 e così via. Si moltiplica ogni cifra per il peso e si sommano tutti i valori. Il numero decimale che rappresentano sarà la somma di tutti i pesi.
Per 100101
Pesi 32, 16, 8, 4, 2, 1
Moltiplicando ogni bit per il peso che gli corrisponde risulta:
32x1 + 16x0 + 8x0 + 4x1 + 2x0 + 1x1 = 37

Conversione decimale-binario

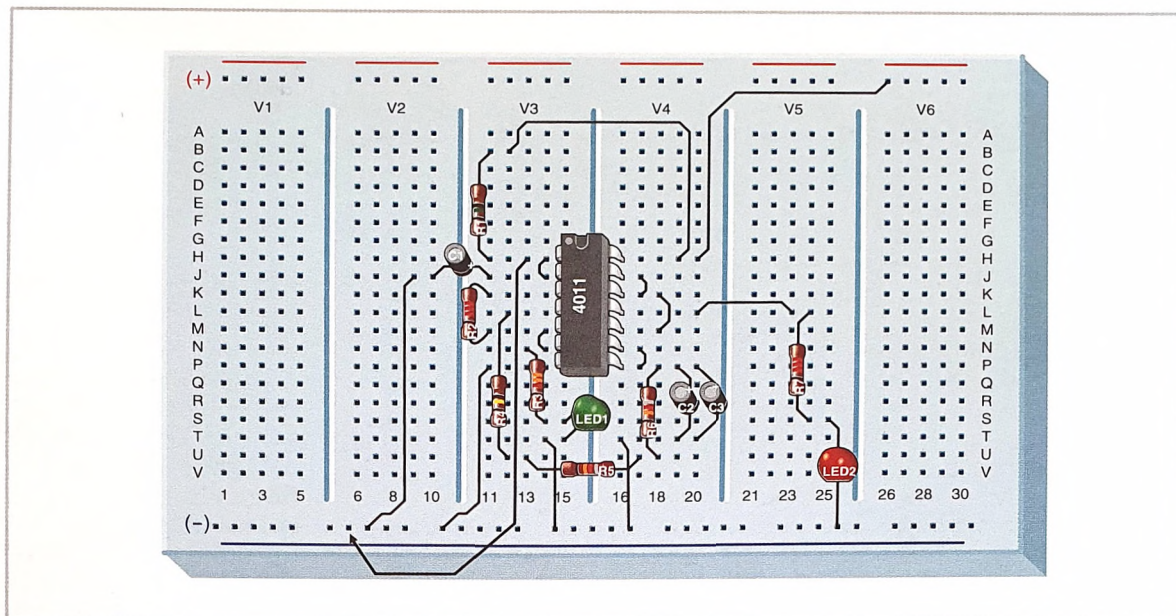
Il passo da decimale a binario è simile. Dapprima ricordiamo i pesi per i 9 primi bits: 256,128, 64, 32, 16, 8, 4, 2, 1. Se per esempio vogliamo convertire a binario il numero 218, dovremo dividerlo per i pesi cominciando dai numeri più grandi. Il bit che occupa il nuovo posto è uno "0", dunque 218 non si può dividere per 256. Passiamo a calcolare il bit numero 8, dividiamo 218 per 128 risulta "1" con un resto di 90, 90 si divide per 64 e risulta un "1" per il bit numero 7, con un resto di 26, andiamo a calcolare il bit numero 6, ma non potendo dividerlo per 32 risulta uno "0". Passiamo a calcolare il bit numero 5, dividiamo per 16, otteniamo un "1" con un resto di 10. Continuiamo a dividere e otterremo successivamente 1, 0, 1, e 0. Che scritto completo è 11011010. Verifichiamo con la nostra calcolatrice che non ci siamo sbagliati:
0x256+1x128+1x64+0x32+1x16+1x8+0x4+1x2+0x1 = 218.

BINARIO 4bits				DECIMALE
D	C	B	A	
0	0	0	0	0
0	0	0	1	1
0	0	1	0	2
0	0	1	1	3
0	1	0	0	4
0	1	0	1	5
0	1	1	0	6
0	1	1	1	7
1	0	0	0	8
1	0	0	1	9
1	0	1	0	10
1	0	1	1	11
1	1	0	0	12
1	1	0	1	13
1	1	1	0	14
1	1	1	1	15

BCD				DECIMALE
D	C	B	A	
0	0	0	0	0
0	0	0	1	1
0	0	1	0	2
0	0	1	1	3
0	1	0	0	4
0	1	0	1	5
0	1	1	0	6
0	1	1	1	7
1	0	0	0	8
1	0	0	1	9

Conversione di un numero binario in decimale, il peso di ogni bit dipende dalla sua posizione.

Temporizzatori con porte

I condensatori si utilizzano per introdurre ritardi nell'attivazione dei circuiti.

Questo tipo di temporizzazioni si utilizza per ottenere ritardi nella messa in moto di circuiti. Pensiamo per esempio a un circuito di allarme: è necessario prevedere un breve tempo per poter uscire dopo l'attivazione, e altrettanto per poter entrare e disattivarlo. Questi ritardi si possono ottenere con circuiti di temporizzazione molto semplici basati su una rete di ritardo RC, chiamata così perché è formata da una resistenza e un condensatore.

La porta non si attiva fino a che si avvicina il livello di tensione corrispondente a un "1" o a uno "0"

L'esperimento

Il circuito dell'esperimento ha due temporizzazioni basate su due reti RC e due LED testimoni della visualizzazione. Se colleghiamo l'alimentazione e lasciamo il circuito collegato per un tempo sufficiente, vediamo che il diodo LED 2 si illumina abbastanza in ritardo.

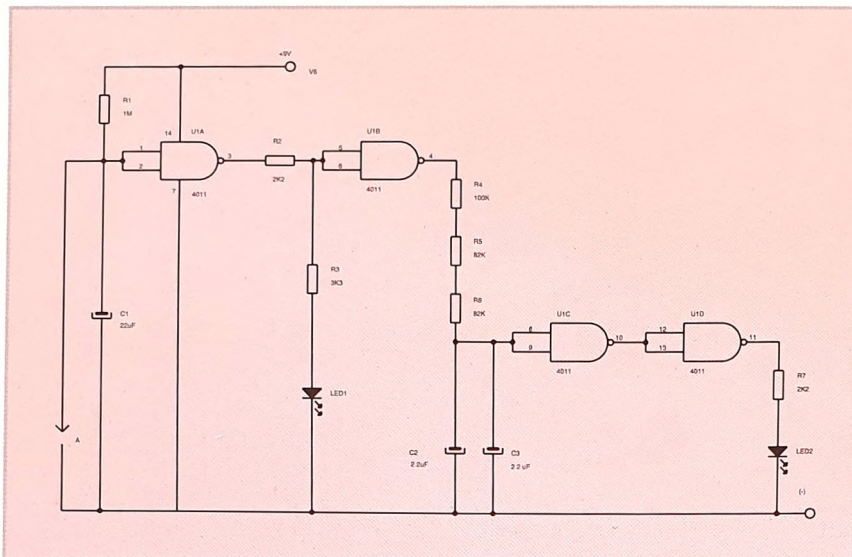
Il LED 1 sarà spento e il LED 2 acceso, questo sarà lo stato di riposo, cioè, il normale. Se ora mettiamo e togliamo un cavo fra i due terminali di C1, cioè, se facciamo un cortocircuito breve, scaricheremo questo e inizierà la temporizzazione.

Prima temporizzazione

Nel circuito abbiamo due temporizzazioni chiaramente differenziate. Vediamo la prima di queste. È formata dalla resistenza R1 e dal condensatore C1, la porta U1A. Il diodo LED 1 e la resistenza R3 hanno lo scopo di indicare l'uscita della porta. Quando colleghiamo il circuito all'alimentazione, il condensatore è scarico e inizia a caricarsi, aumentando la tensione ai suoi estremi attraverso la resistenza R1; la porta U1A avendo le sue entrate unite, agisce come invertitore, per cui se l'entrata è minore di 6,5 V la considera come "0" e nella sua uscita c'è un "1" (LED 1 illuminato). Quando la tensione supera i 6 V, è un "1" e l'uscita passa a zero (LED 1 spento). Per tornare a ripetere il procedimento, con l'alimentazione già collegata, dovremo mandare in cortocircuito gli estremi del condensatore per portare la sua tensione a 0 V e fargli cominciare di nuovo la carica o "temporizzazione".

Seconda temporizzazione

Una volta vista la prima temporizzazione, la seconda è esattamente uguale, però è concatenata, cioè, la carica dei condensatori C2 e C3 at-

Temporizzatori con porte

COMPONENTI

R1	1M
R2, R7	2K2
R3	3K3
R4	100K
R5, R6	82K
C1	22µF
C2, C3	2.2µF
LED 1	LED rosso
LED 2	LED verde
U1	4011

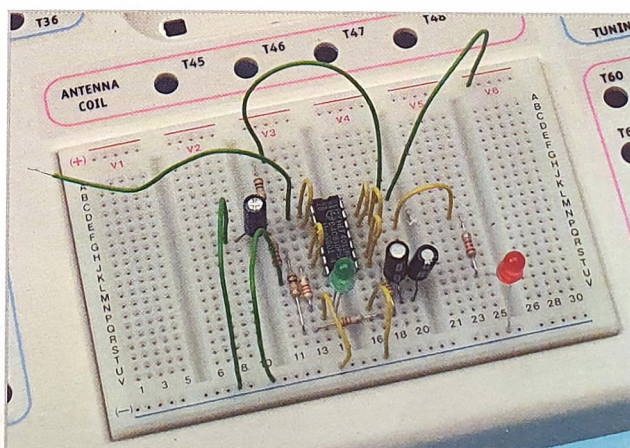
traverso le resistenze R4, R5 e R6 non inizierà fino a che nell'uscita di U1B, piedino 4, ci sarà un "1". Il diodo LED 2 di uscita ci indicherà quando la tensione che ha il condensatore è zero (LED spento) e quando raggiunge un "1" dopo la carica (LED illuminato). Quello che abbiamo appena detto può sembrare strano, ma se analizziamo il circuito vediamo che il segnale all'entrata di U1C, che è la tensione dei condensatori, si inverte con U1C e torna a invertirsi con U1D, quindi restiamo allo stesso livello dell'entrata.

Prove sperimentali

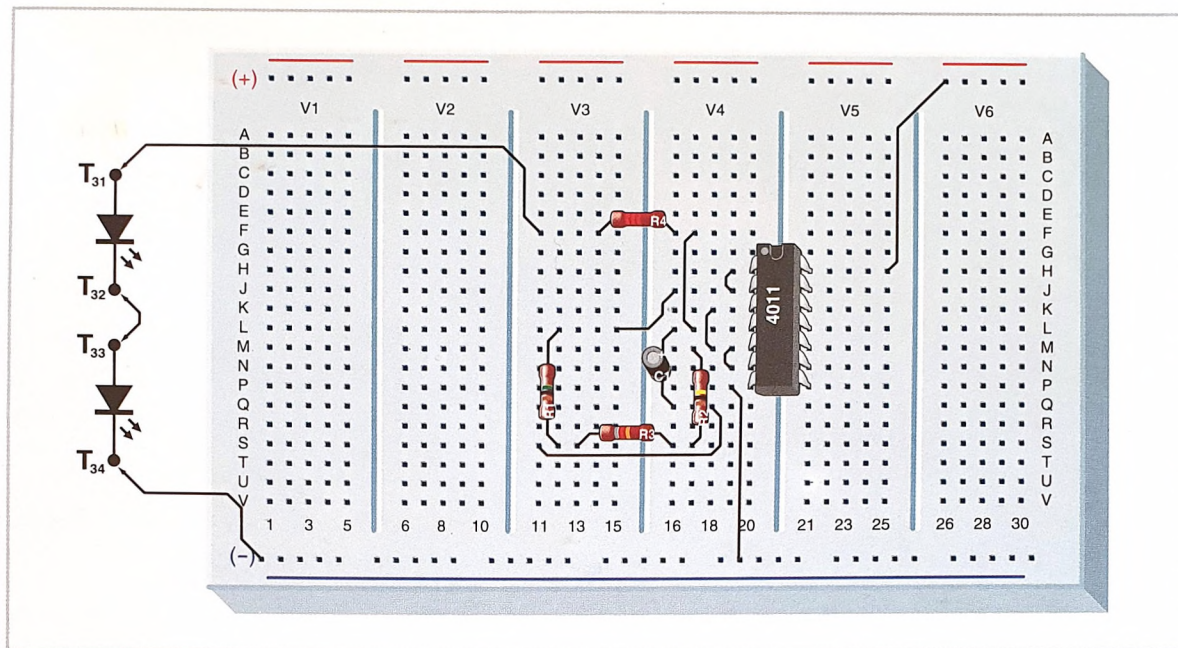
Una volta montato il sistema e provato il circuito possiamo fare alcuni esperimenti per prendere confidenza con i concetti e chiarire alcuni dubbi.

Così, per esempio, possiamo cambiare la resistenza R1 con una di 47K, manderemo in cortocircuito il condensatore e vedremo che diminuisce considerevolmente il tempo, riducendosi a poco più di 1s.

Lo stesso effetto di riduzione del tempo di temporizzazione si verifica se diminuiamo il condensatore da 22µF a 2.2µF.

In questo modo possiamo vedere i tempi che intercorrono da quando si esercita un'azione, in questo caso mandare in cortocircuito il condensatore, fino a che si produce l'effetto, in questo caso l'illuminazione del LED. Per esempio, questo montaggio ci sarebbe molto utile per temporizzare il tempo dal momento che entriamo in casa fino alla disattivazione dell'allarme. È una situazione normale, l'allarme entrerebbe in funzione all'apertura della porta e scatterebbe, il che non sarebbe gradevole, in questo modo lo possiamo controllare. Per provare che realmente il condensatore è l'anima dei circuiti temporizzati, quello che faremo è togliere i condensatori C2 e C3, in questo modo i diodi LED si illumineranno in modo opposto. Il circuito integrato si inserirà tenendo conto della sua scanalatura di orientamento. Bisogna che sia collocata verso la parte superiore della piastra. Se durante la prova non funziona niente, dobbiamo verificare in primo luogo tutti i collegamenti e lo stato delle pile, e poi tutte e ognuna della porte, così come abbiamo visto in un esperimento precedente.

La temporizzazione del circuito comincia dopo aver caricato il condensatore C1, quando si apre il collegamento segnalato con A nello schema.

Oscillatore con porte NAND

Progettiamo un generatore ad onda quadra con il circuito integrato 4011

Il montaggio sarà molto utile quando avremo bisogno di un oscillatore, un generatore di clock, o un segnale di sincronismo per altri circuiti, soprattutto digitali. All'uscita di questo circuito si ottiene un segnale con un ciclo di lavoro del 50%, che si mantiene cioè a livello alto per lo stesso tempo in cui si mantiene a livello basso.

Si può anche variare il ciclo di lavoro e creare segnali che rimangano per molto tempo a livello alto e molto poco a livello basso, o viceversa. Con segnali di bassa frequenza è possibile vedere il segnale di uscita mediante diodi LED.

La frequenza dipende dai valori della resistenza RC

Funzionamento

Osservando lo schema possiamo verificare il funzionamento del circuito. Il principio di base su cui si regge per cambiare lo stato delle porte da "0" a "1" o viceversa, è la carica o la scarica del condensatore.

La porta di entrata è quella che stabilisce la tensione alla quale si produce il cambio di stato logico. La frequenza del segnale dipende dai valori scelti per la resistenza R2+R3 e per il condensatore C1.

Calcolo della frequenza

La frequenza che si ottiene all'uscita si può calcolare mediante la formula $f=1/(2,2x(R2+R3)xC1)$. In questo modo la frequenza d'uscita dipende dal valore di una resistenza e di un condensatore, come in tutti i circuiti oscillatori RC. Possiamo osservare che intervengono solo due delle tre resistenze inserite nel circuito. La terza di queste, R1, è la resistenza che si mette perché il circuito oscilli, con un valore abbastanza alto e, per assicurare un buon funzionamento, deve essere compresa fra 5 e 10 volte il valore di R2+R3, anche se dipendendo dai valori di queste, può funzionare con una relazione minore. Il condensatore è di 22 µF e, anche se non è un valore molto elevato, non si consiglia di usare valori superiori a 100 µF.

Messa in funzione

Per verificare il nostro circuito basterà montare tutti i componenti nel laboratorio e collegarli come indicato nello schema di montaggio, poiché il circuito funzionerà immediatamente quando collegheremo l'alimentazione. Per visualizzare il

Oscillatore con porte NAND

COMPONENTI

R1	1M
R2	100K
R3	82K
R4	2K2
C1	22 µF
U1	4011
LED7, LED8	

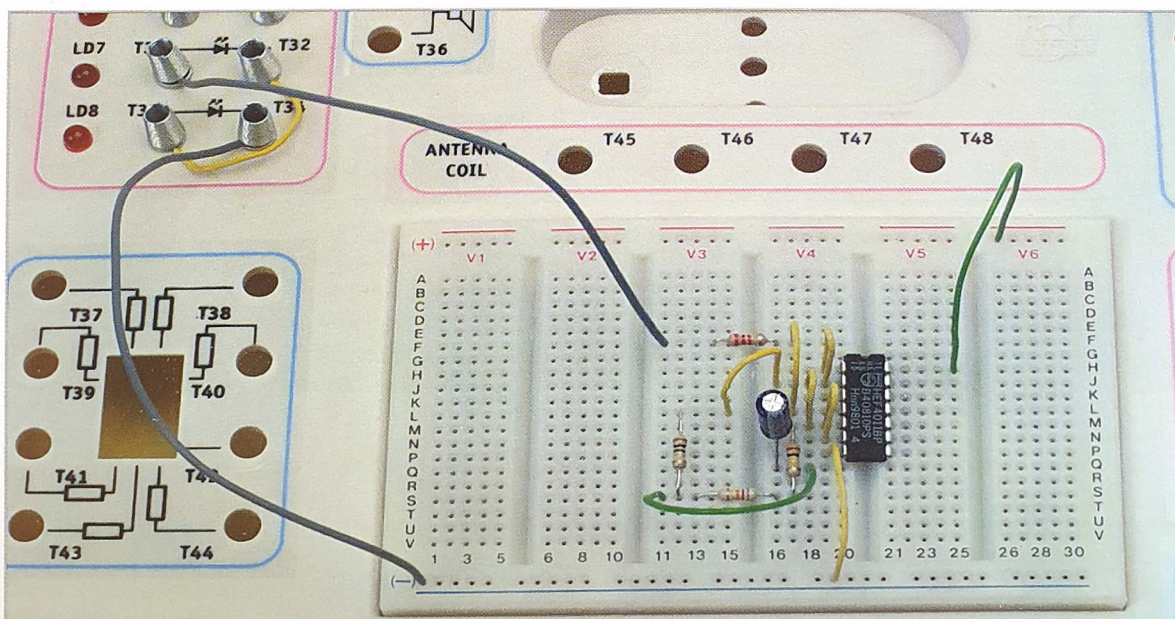
segnale quadrato che c'è nell'uscita, uno e zeri alternati, metteremo due diodi LED che collegheremo direttamente al modulo dei diodi LED del laboratorio. In questo tipo di montaggio è facile dimenticarsi di collegare i terminali di alimentazione del circuito integrato.

Variando la frequenza

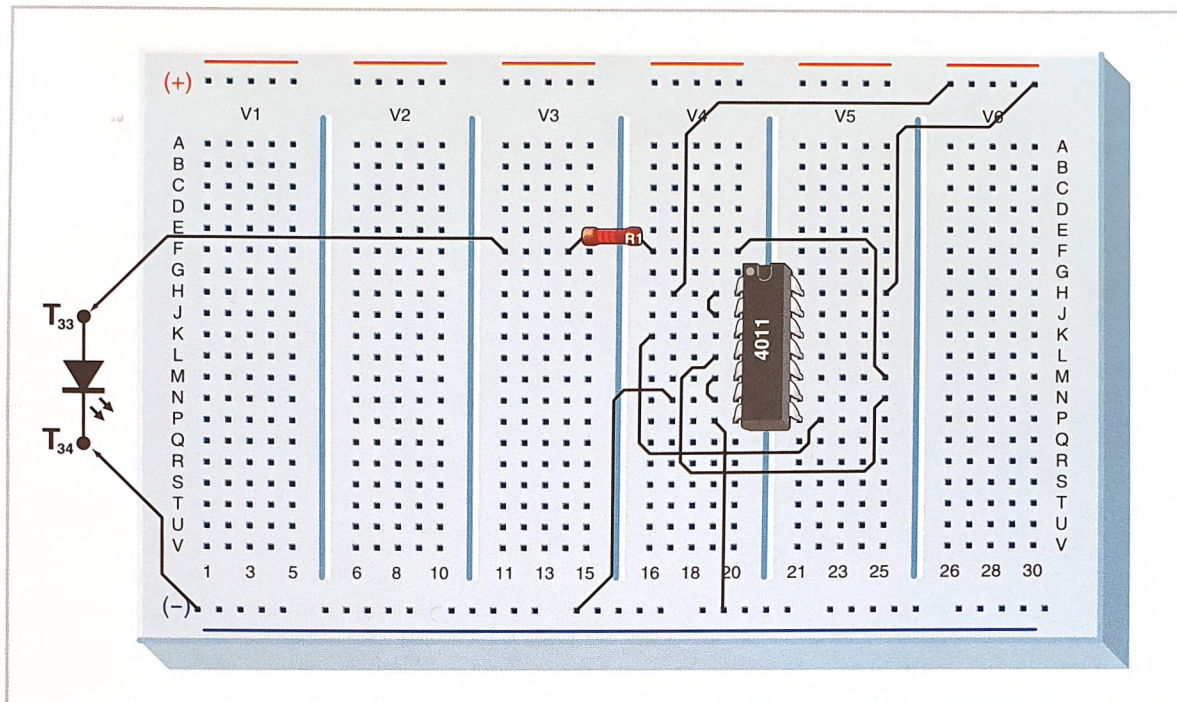
Come abbiamo appena visto, se nella formula della frequenza mettiamo i valori che abbiamo nel circuito, otterremo un segnale di 0,11 Hz, o, il che è lo stesso, un periodo T=1/0.11=8,8s, per cui, tenendo conto che il ciclo di lavoro è del 50%, avremo il diodo acceso e spento ogni 4 secondi.

Possiamo dunque aumentare il tempo in cui i diodi stanno accesi, aumentando la capacità del circuito, il che si fa mettendo in parallelo con C1 un altro condensatore di 2,2 µF.

Possiamo anche fare l'operazione inversa e togliere il condensatore di 22 µF, mettendone uno di 2,2 µF, in modo tale che il diodo lampeggerà così velocemente da non vedersi quando sarà spento.

Come per il condensatore, possiamo variare le resistenze R2 e R3 per verificare l' effetto sulla frequenza. Possiamo anche cambiare R1 con un valore molto basso e vedremo che il circuito non oscilla, perché non commuta.

Oscillatore montato; cambiando R2 o R3 varia la frequenza.

Combinazioni di porte NAND

A partire da porte NAND con due ingressi si possono ottenere altre porte.

Molte volte abbiamo bisogno di una porta di un certo tipo e abbiamo solo porte di un altro tipo, oppure può succedere che non abbiamo tempo di uscire a comprare un nuovo integrato, che non ci sia quello di cui abbiamo bisogno, o semplicemente che possiamo utilizzare porte libere che avanzano nel circuito. In questi casi c'è una soluzione veloce che evita ritardi nella realizzazione dello schema. Inoltre, se il nostro progetto si monta in un circuito stampato è importante ridurre la dimensione e i costi, per questo è di uso comune quando c'è un integrato del quale utilizziamo solo una porta, avendo bisogno di un altro tipo di porta, usare le porte disponibili avanzate per realizzarla, invece di utilizzare un nuovo integrato.

La doppia inversione riporta il segnale nella forma originale

Porta AND

Nel circuito (A) si ottiene una AND a partire da due porte NAND. Per questo dobbiamo solo fare l'operazione essenziale di collegare l'uscita della porta NAND a una porta invertitore realizzata con altra porta NAND. La porta invertitore si ottiene unendo fra loro le due entrate di una porta NAND.

Porta NAND con tre ingressi

Per realizzare una porta NAND a tre ingressi, circuito (B), basta stabilire la funzione che vogliamo rappresentare.

Vediamo che è un prodotto di tre entrate e tutte invertite. Una porta NAND è il prodotto delle sue entrate invertite, pertanto, se in un'entrata ho già un prodotto delle due, nell'altra, la terza, l'uscita sarà direttamente la NAND di tre entrate. Perciò, per realizzare il circuito (B), si può partire solo dall'(A) aggiungendo una porta in più. Il livello nell'uscita si vede collegando un diodo LED e la sua resistenza limitatrice corrispondente, questo circuito di visualizzazione, circuito (E), si utilizza nei quattro esperimenti. Per verificarlo si userà la tavola logica per una portá NAND con tre entrate.

Conversione fra prodotti e somme

Per gli appassionati di matematica spieghiamo brevemente come tutto questo ha un suo ragionamento teorico. La porta NAND è una funzione che moltiplica e inverte, pertanto, qualsiasi fun-

Combinazioni di porte NAND

COMPONENTI
CIRCUITI A,B,C e D
U1 4011
R1 2K2
LED8

NAND 3 ingressi

E1	E2	E3	S
0	0	0	1
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	1
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	0

AND

E1	E2	S
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

OR

E1	E2	S
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

NOR

E1	E2	S
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

zione desideriamo realizzare, dobbiamo convertirla in prodotti e inversioni. Questo, che può sembrare qualcosa di molto complesso, in realtà è molto semplice, bisogna soltanto applicare la nota regola di Morgan. Con questa potremo passare direttamente da somme a prodotti e viceversa. Questa regola d'oro serve a realizzare i vari modelli di porte a partire da uno solo.

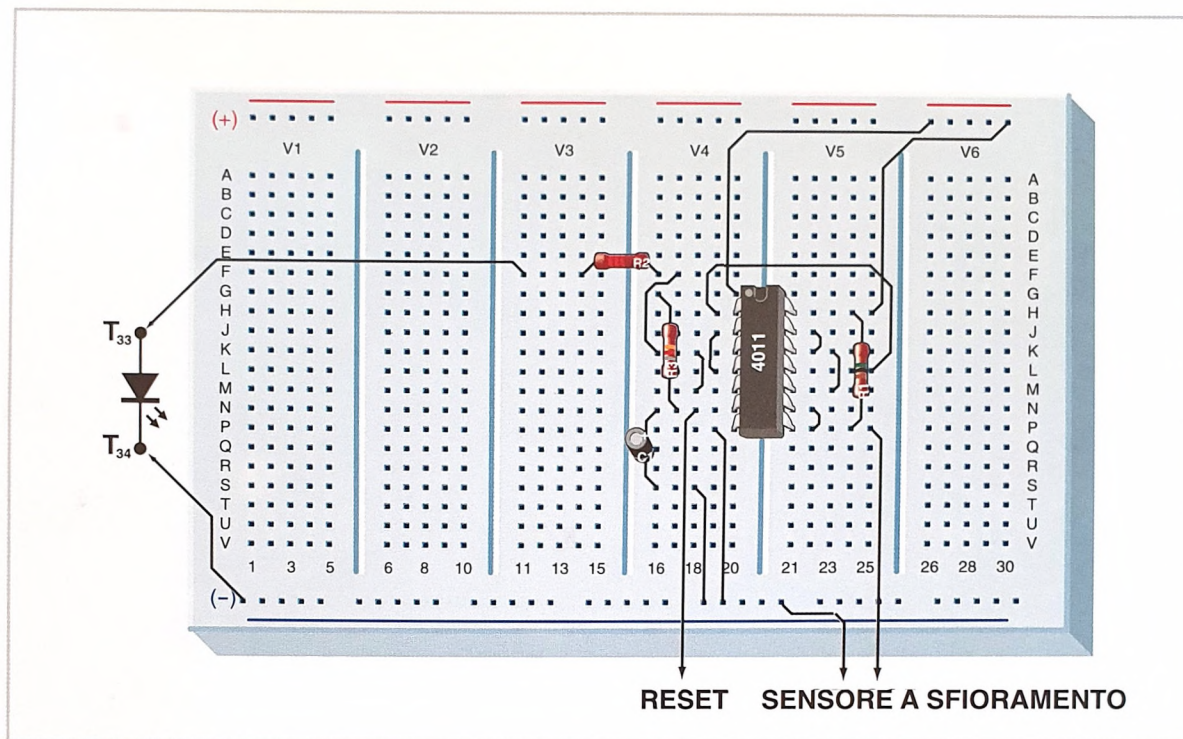
Porte OR e NOR

La costruzione della porta OR, montaggio (C), si ottiene applicando direttamente le due regole che abbiamo visto fino ad ora. Da un lato la doppia inversione, senza per questo far variare la funzione, e dall'altro, la regola di Morgan. Se osserviamo la funzione ottenuta, avremo le due entrate alla funzione NAND invertite. Per verificare la porta introdurremo uno e zeri in ogni entrata e mediante il diodo LED, che collocheremo all'uscita con le sue resistenze di polarizzazione, potremo verificare la tavola. Per fare una porta NOR, montaggio (D), basterà invertire l'uscita della porta OR, che dobbiamo anche provare verificando la tavola e mettendo il montaggio (E) del diodo LED nell'uscita.

Legge di Morgan: converte somme in prodotti e viceversa.

Una espressione matematica negata due volte è uguale a se stessa

Cellula di memoria

Il circuito rappresenta l'unità di memorizzazione più semplice.

Il circuito memorizza nella sua uscita lo stato "1" o "0". Ha due entrate, una chiamata SET che ha l'uscita a livello alto "1", e che si mantiene in questo stato finché si attiva l'altra entrata chiamata "RESET". In realtà il circuito ha due uscite poste nei terminali 3 e 4 del circuito integrato. Le due uscite sono invertite, per cui una ha sempre lo stato logico opposto all'altra. Quello che realmente fa il circuito è memorizzare un impulso, poiché mantiene questo stato anche se il segnale si interrompe.

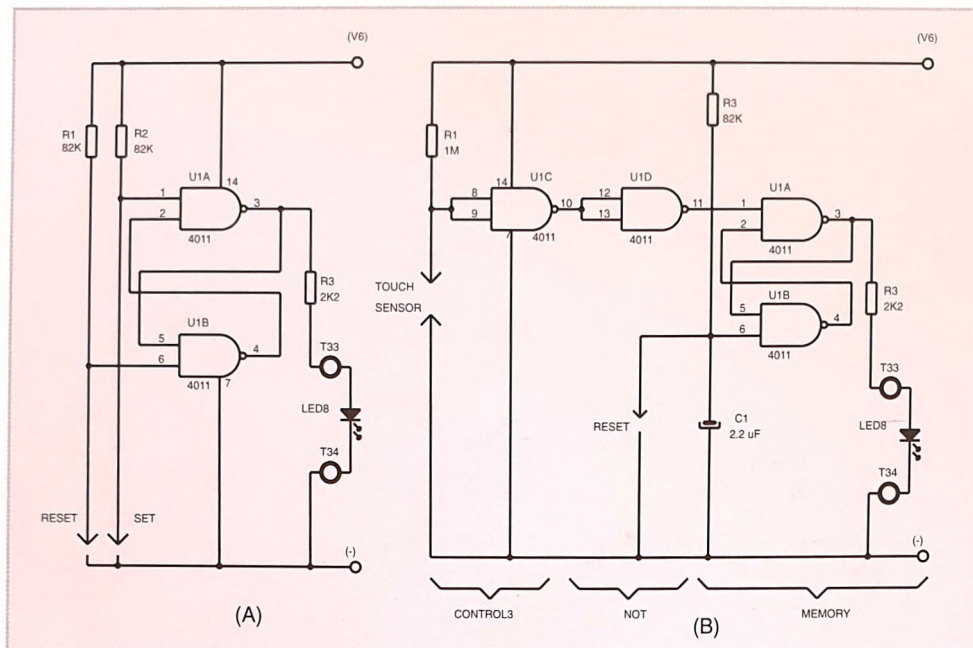
Il circuito, una volta attivato, memorizza lo stato in modo permanente

Cellula semplice

Montiamo adesso il circuito (A), che è la cellula di memoria semplice, potremo così vederne il funzionamento. Inizialmente, collegando l'alimentazione si produce uno stato in cui una delle due uscite è uno e l'altra è zero. Questo lo possiamo vedere nella tavola, cioè, se le due entrate sono a livello alto "1", l'uscita rimarrà com'era prima, ma accendendo l'alimentazione in Q, può uscire un "1" o uno "0", invertito nell'uscita /Q. Ebbene, partendo da questo stato iniziale possiamo verificare con la tavola logica come si susseguiranno uno ad uno tutti gli stati. Se osserviamo la tavola logica vediamo che l'uscita si attiva a "1" quando introduciamo uno zero nell'entrata SET, da qui il nome SET a questa entrata, perché mette a "1" l'uscita. Se guardiamo l'entrata RESET avviene il contrario, cioè, attivandola passa a "0" l'uscita. Anche Q è "0", da qui il suo nome, RESET, poiché cancella l'uscita attiva. Nell'uscita /Q succede giusto il contrario. Un appunto importante da tener presente è che nei circuiti CMOS gli ingressi liberi sono per default a "0".

Applicazione pratica

Il nostro montaggio ha molte applicazioni, per esempio collegare all'entrata SET il nostro circuito rivelatore di interruttore a sfioramento (vedere controllo 3), invertendo l'uscita, in modo che quando premiamo ci sia uno "0", che è il modo di attivare il nostro circuito di memoria, e non un

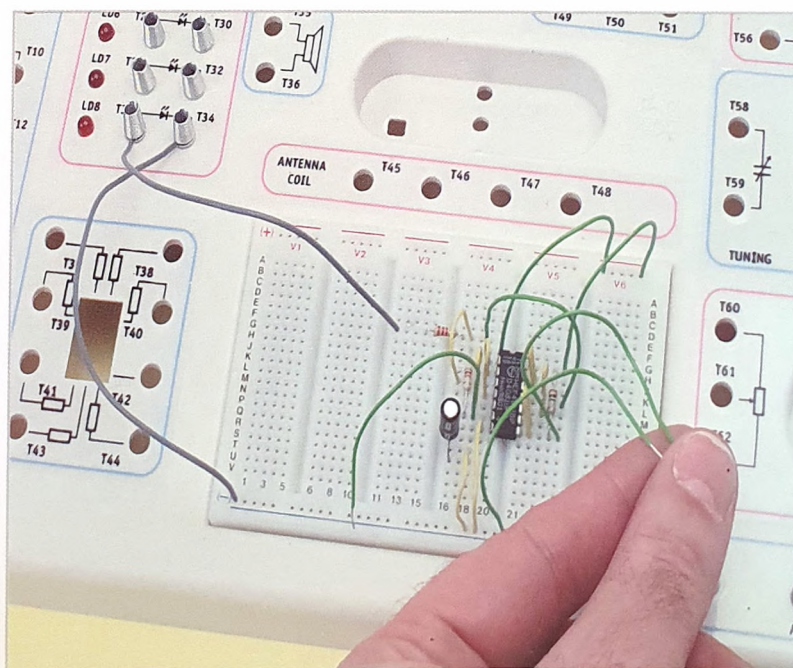
Cellula di memoria

COMPONENTI

Circuito (A)	
R1,R2	82K
R3	2K2
U1	4011

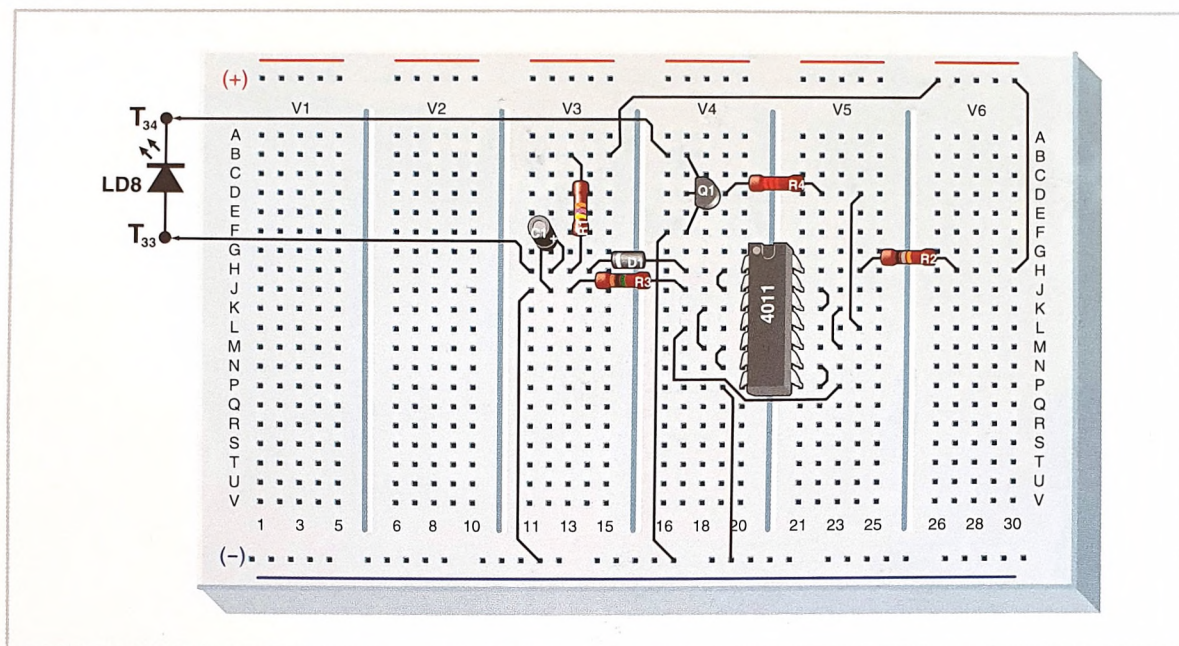
Circuito (B)	
R1	1M
R2	2K2
R3	82K
C1	2,2 µF
U1	4011

"1" che è quello che ci dava il circuito rivelatore. In questo modo quando premiamo, rimarrà attivato il diodo LED dell'uscita Q. Con questa connessione fra un circuito di rivelazione a sfioramento e un altro di memorizzazione avremo realizzato un completo circuito azionatore. La resistenza in serie con il condensatore farà sì che tutte le volte che colleghiamo l'alimentazione si produca un RESET e che il diodo sia spento dopo il collegamento dell'alimentazione.

Circuito anti-rimbalzi

Questo circuito ha una vasta applicazione come circuito anti-rimbalzi. Quando premiamo un pulsante una sola volta, benché ci possa sembrare che si produca direttamente un cambio di tensione da "0" a "1" o da "1" a "0", non è così e in realtà ci sono molte variazioni dovute ai contatti meccanici del pulsante, questi cambiamenti non desiderati sono chiamati "rimbalzi". Il nostro circuito così come lo abbiamo progettato, controlla il primo cambio di stato logico che avviene all'entrata, ignorando quindi i segnali successivi generati dal rimbalzo provocato dalle lamine che costituiscono i contatti all'interno dell'interuttore. A questo punto avremo un cambio di stato all'uscita, che non sarà ulteriormente influenzato da disturbi o rimbalzi indesiderati.

Circuito di controllo che memorizza la pulsazione del sensore a sfioramento.

LED di basso consumo

Si ottiene un diodo LED che lampeggia, ma con consumo minimo.

Ogni giorno aumentano gli apparecchi che funzionano con batterie, e perché questi possano essere operativi e affidabili devono avere un'autonomia di funzionamento ogni volta maggiore, il che ci costringe a realizzare circuiti di minore consumo.

Una di queste riduzioni di consumo si può applicare al circuito pilota che di solito gli apparecchi hanno per indicare che sono attivati.

Funzionamento

Il circuito ha un principio di funzionamento molto semplice. Il condensatore C1, che si carica attraverso la resistenza C1 in modo lento, è quello incaricato di immagazzinare l'energia che il diodo LED consuma in ogni lampeggio, momento in cui si scarica il condensatore.

Pertanto questa rete R-C determina il tempo tra un lampeggio e l'altro. A maggiore valore del condensatore corrisponderà una maggiore energia immagazzinata e più intenso sarà il lampeggio del LED.

Il diodo zener

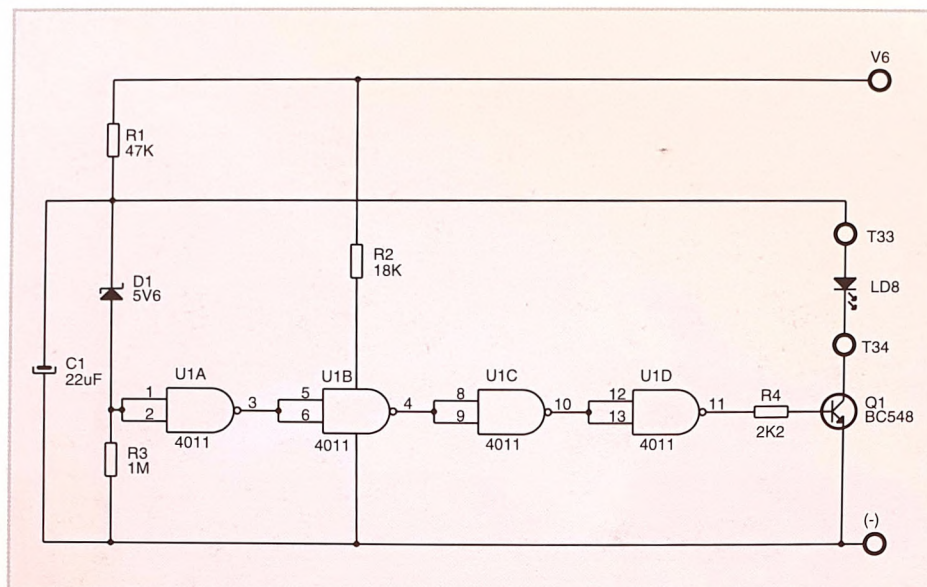
Questo particolare tipo di diodo si usa per stabilizzare la tensione. Quando si polarizza direttamente, cioè con l'anodo a positivo e il catodo a negativo, funziona come un diodo semiconduttore normale, con 0,6 V fra i suoi estremi, ciononostante, all'inverso con una resistenza associata in serie, mantiene fra i suoi estremi la tensione, che indica con molta precisione. In questo circuito il diodo zener è di 5,6 V.

Il montaggio

Prima di collegare l'alimentazione, il condensatore è completamente scarico, per cui il diodo zener non è polarizzato e la tensione nell'entrata della porta U1A sarà a basso livello, "0", il che produrrà un livello basso all'uscita, e il transistor sarà in stato di interdizione, perciò il diodo LED non si illuminerà.

Quando colleghiamo l'alimentazione, il condensatore C1 comincia a caricarsi attraverso la resistenza R1, così come abbiamo indicato, e quando raggiunge e supera la tensione dello zener, cioè 5,6 V, questo conduce e nell'entrata della porta U1A si introduce un livello alto, "1", il quale circola all'uscita del quarto invertitore e si applica alla base del transistor, che entrando in conduzione illuminerà così il diodo LED. In que-

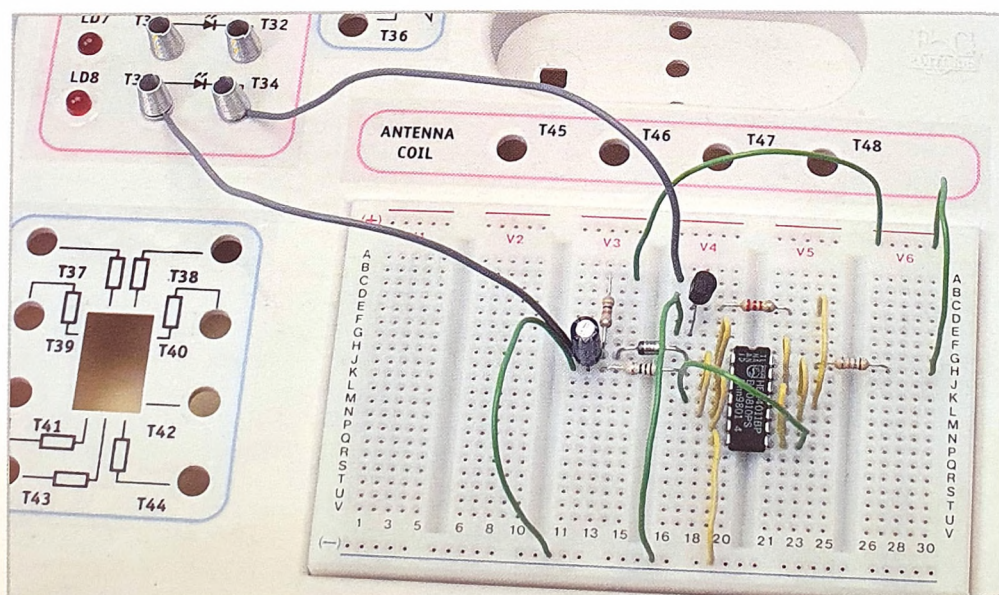
Nei circuiti alimentati a pile bisogna ridurre la corrente consumata

LED di basso consumo

COMPONENTI	
R1	47K
R2	18K
R3	1M
R4	2K2
C1	22 µF
D1	Diodo zener 5V6
Q1	BC548
U1	4011
LED8	

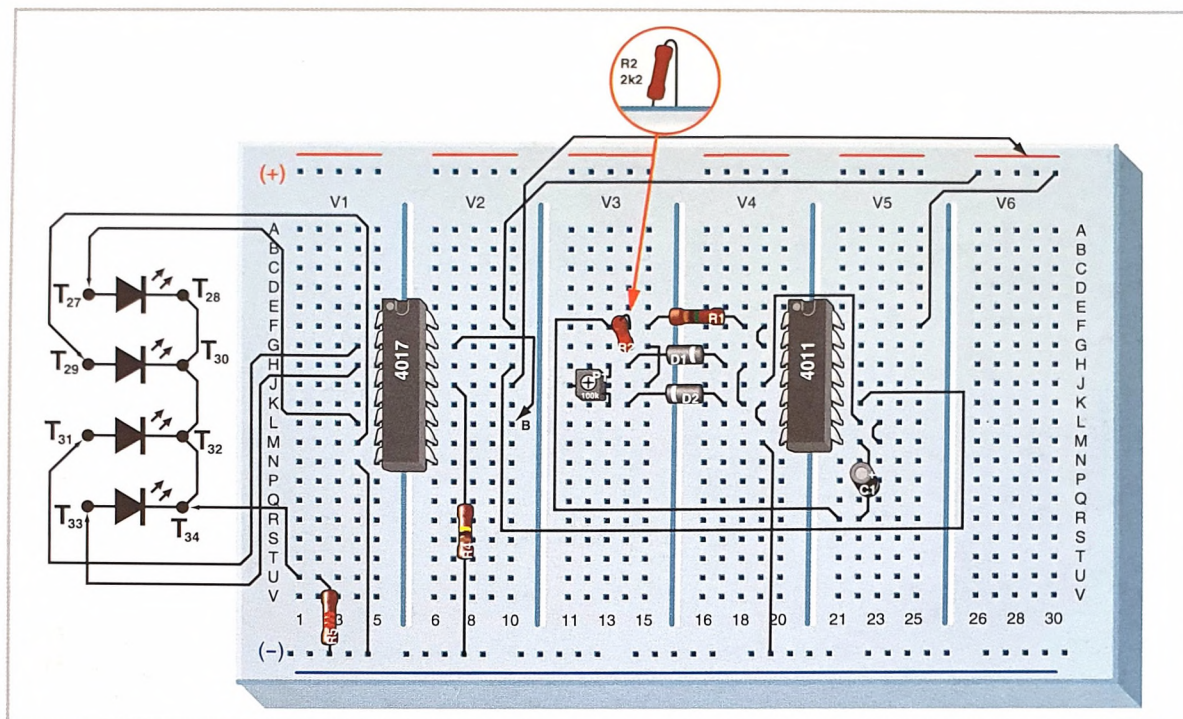
sto momento l'energia immagazzinata nel condensatore passerà al diodo LED e si scaricherà, per cui torniamo allo stato iniziale, nel quale il condensatore inizierà a caricarsi fino a superare la tensione dello zener.

Prove sperimentali

Nel circuito, dunque, abbiamo il diodo LED che si accende lampeggiando, il che fa sì che abbia un consumo medio di 0,2 mA, che è ideale per apparecchi alimentati a pile o batterie. Possiamo realizzare variazioni della resistenza R1 per verificare che all'aumentare del suo valore si avrà un tempo più lungo fra un lampeggio e l'altro, ma la durata non si allungherà mai.

Per questo dobbiamo variare la capacità del condensatore. Se la aumentiamo, mettendo in parallelo gli altri condensatori, incrementeremo il tempo di accensione del diodo, poiché si immagazzinerà una energia maggiore; se riduciamo la capacità mettendo invece di 22 µF un condensatore di 2,2 µF vedremo appena il lampeggio. Questo circuito si può anche utilizzare per simulare l'esistenza di un allarme.

Se aumentiamo il valore di R1 a 1M, osserviamo che aumenta il tempo fra i lampeggi.

Gioco d'azzardo

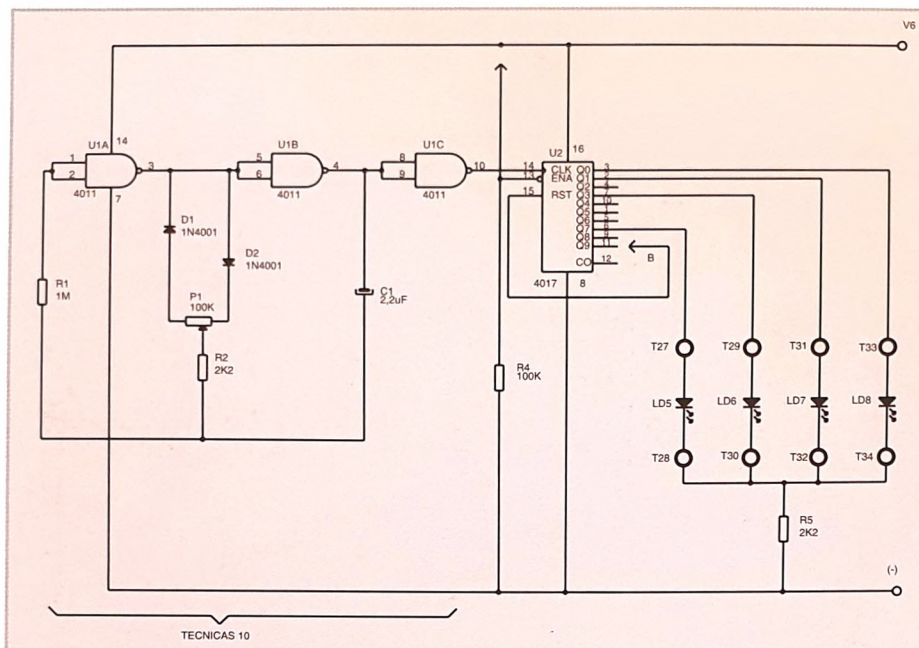
Il circuito ci servirà per distrarci, per competere anche con degli amici e vedere chi ottiene il punteggio massimo.

Con questo circuito, dopo aver definito un punteggio per ciascuno dei 4 diodi LED di cui dispone, possiamo tentare di migliorare a ogni tiro oppure superare il punteggio ottenuto da ciascun concorrente. Possiamo anche stabilire diversi gradi di difficoltà, per fare questo basterà cambiare alcune connessioni così come spiegheremo più avanti. Allo stesso modo, esiste anche la possibilità che nessuno dei diodi LED si illumini, per cui il gioco diventa ancora più emozionante. Per far ciò, per ipotesi, dobbiamo utilizzare un clock con frequenza molto elevata, per rendere il risultato il più possibile casuale.

Il gioco

In questo gioco possiamo stabilire diversi gradi di difficoltà. Vediamo il grado più semplice. In questo livello renderemo sempre visibile il punteggio, perché avremo solo i 4 diodi collegati alle uscite Q0, Q1, Q2 e Q3. L'uscita Q4 si collega al terminale RESET (terminale 15). Se vogliamo aumentare la difficoltà, lasceremo libera l'uscita Q4 e collegheremo il RESET all'uscita Q5: avremo così un'opzione che complica un poco il gioco. Il livello di complessità massima sarà quando utilizzeremo tutte le possibili uscite del circuito integrato, che sono 11.

Così, se distribuiamo i LED come indicato nel montaggio, su 11 possibilità, potremo puntare solo su 4; di tutte le restanti 7, possono uscire tutte e non illuminare nessun LED. In questo caso, perché il circuito funzioni continuativamente, dovremo collegare l'entrata del terminale 15 (RESET) alla massa: altrimenti, il circuito non funzionerà e l'uscita Q0 rimarrà sempre attiva, così come il diodo LED se rimanesse attivato. I punti attribuiti a ciascun LED non hanno importanza alcuna, perché la difficoltà di colpire nel segno è data, come abbiamo visto, dalla distribuzione dei LED nelle uscite del circuito integrato. Può essere che le 11 uscite ci abbiano un po' sorpreso, perché da Q0 a Q9 ce ne sono solamente 10; l'uscita CO è particolare, perché può essere attiva insieme alle altre, la qual cosa, logicamente, complica il gioco.

La casualità è legata a un'elevata frequenza di clock

Gioco d'azzardo

COMPONENTI	
R1	1M
R2,R5	2K2
R4	100K
P1	100K
D1,D2	1N4001
C1	2,2µF
U1	4011
U2	4017
LED5, LED6, LED7, LED8	

Generazione del clock

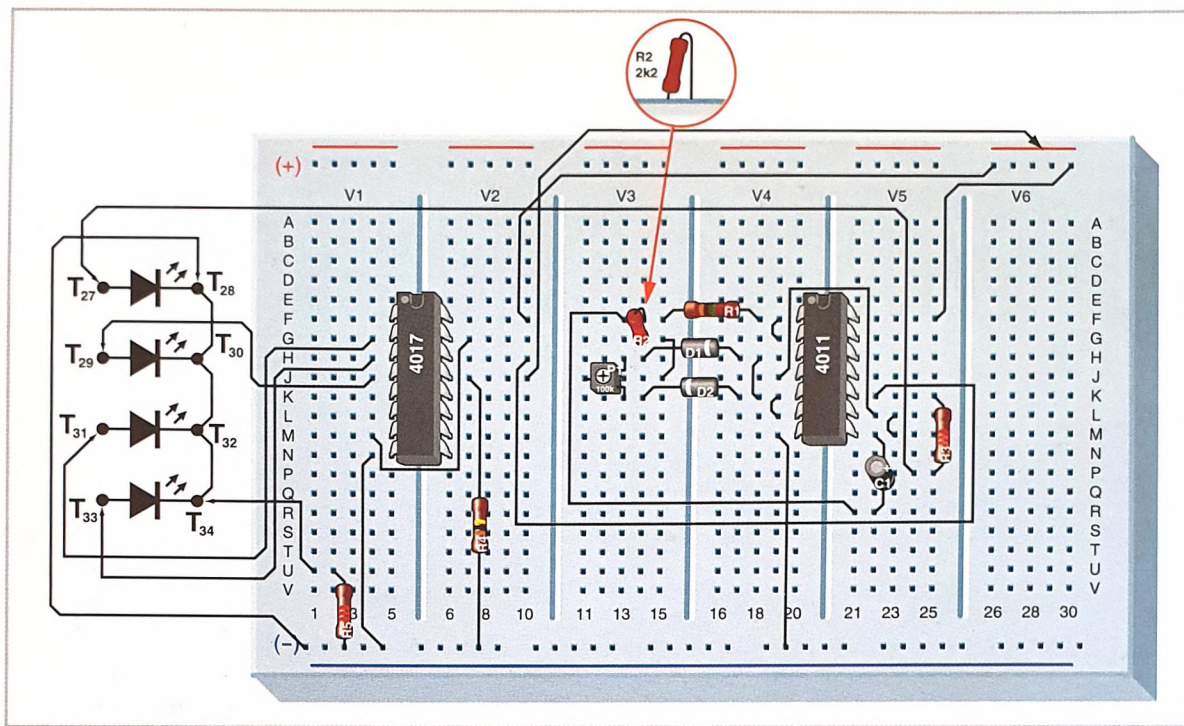
Visto il gioco da un punto di vista teorico, vediamo come far funzionare il circuito. Dopo aver collegato tutto il circuito come indicato nello schema, perché funzioni dovremo inserire un clock. Potremo utilizzare quello che abbiamo usato nell'esperimento TECNICHE 10, con qualche cambiamento per ottenere un maggior segnale di frequenza. A tal fine ridurremo il condensatore C1 a 2,2 µF oppure calcoleremo un circuito applicando la formula che già conosciamo e con i componenti che abbiamo per ottenere una frequenza maggiore di 10 Hz. Tanto maggiore sarà, tanto più sarà alta la casualità. Un altro modo per ottenere il clock e per far funzionare il circuito è toccare con il dito il filo collegato all'entrata del clock (CLK); le interferenze che possiamo trasmettere saranno captate e considerate come livelli logici.

Il gioco si ferma collegando il terminale 13 a V6.

Funzionamento

Collegato un clock al circuito, basterà unirlo all'alimentazione perché funzioni continuativamente; lo si può fermare quando vogliamo e a tal fine dovremo collegare il terminale 13, che è normalmente a massa tramite la resistenza R4, al positivo di alimentazione, arresteremo così il conteggio in un punto che sarà l'uscita finale. Esiste anche la possibilità di farlo al contrario, collegando, cioè, la resistenza R1 tra i terminali 13 e V6: così il circuito verrà fermato. Quando colleghiamo il terminale 13 alla massa attraverso un cavo, il circuito conterà; poi lo scollegheremo ottenendo l'uscita.

Lotteria elettronica

L'elevata frequenza dell'oscillatore fa sì che il segno generato sia totalmente aleatorio.

Il circuito ci consente di ottenere direttamente il segno della schedina quando si realizza la connessione indicata con la freccia nello schema. I tre LED che rappresenteranno l''1', la 'x' e il '2' si illumineranno ciclicamente mentre si mantiene la connessione; la velocità di illuminazione sarà molto elevata: non potremo, quindi vedere qual è lo stato di ciascuno. Quando interromperemo la connessione uno dei tre diodi rimarrà illuminato e con ciò avremo un segno da riportare. Il fatto che la velocità sia così elevata evita che si ripeta sempre lo stesso segno quando stiamo facendo una schedina ripetendo periodicamente la generazione dei simboli.

L'integrato

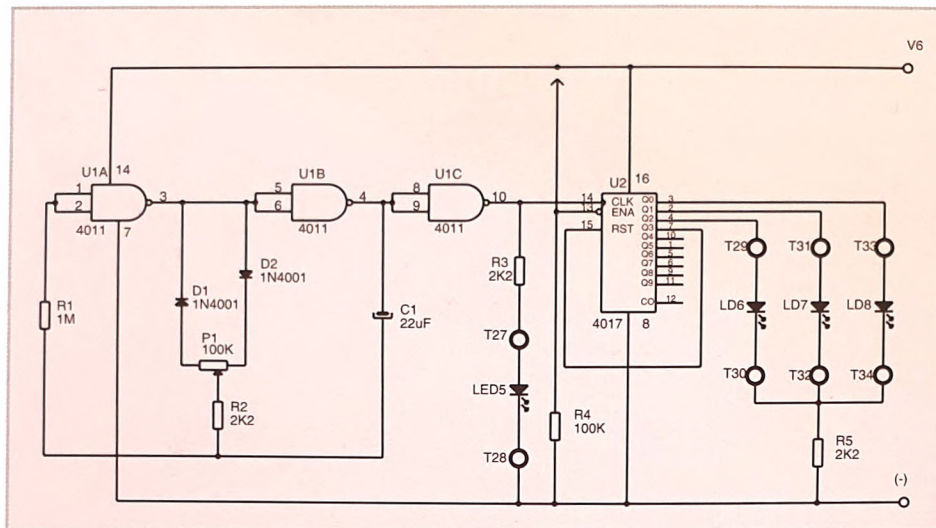
Il 4017 è un circuito integrato molto utile e di grande applicazione nel mondo dell'elettronica. Non possiamo inserirlo in nessun tipo di integrato dato che non è un contatore, né un divisore propriamente detto, anche se è conosciuto come contatore ad anello perché in ogni momento c'è una e solamente una uscita attiva, che cambia da un'uscita alla successiva ogni volta che un impulso entra attraverso il terminale CLK, sigla che definisce solitamente il terminale del clock e attraverso cui il circuito riceve il comando per cambiare l'uscita successiva.

Diamo qualche appunto su ciò a cui si riferisce il segnale di clock. Un segnale di clock non è altro che una frequenza generata con onda quadra, che si ripete, cioè, ogni determinato periodo di tempo.

Costruzione del generatore di clock

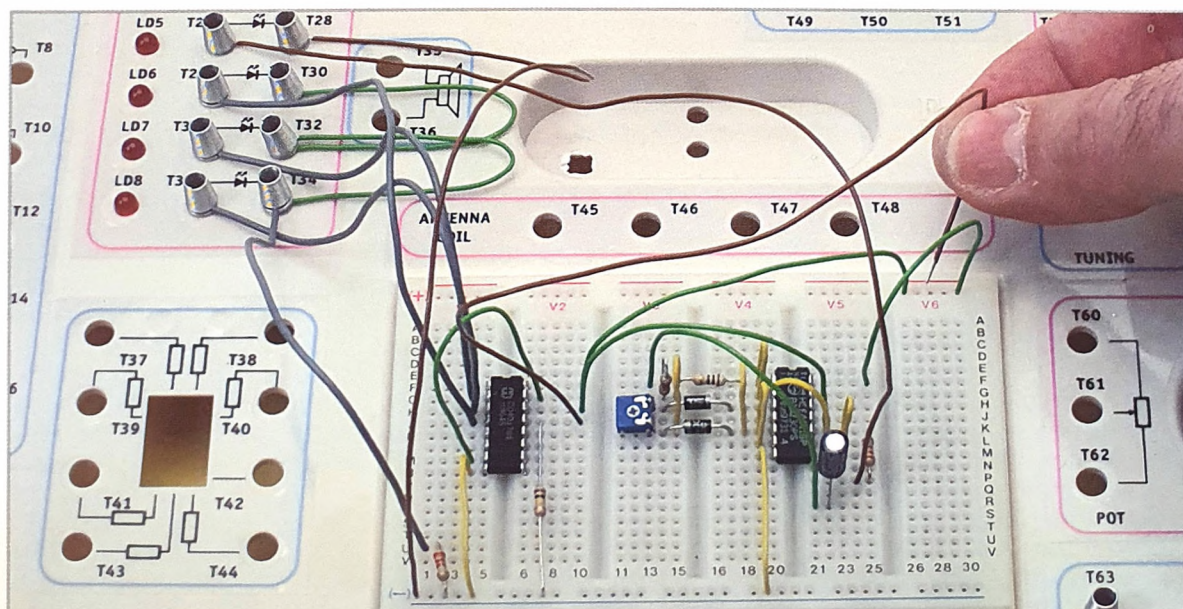
Il funzionamento di questo montaggio è semplice. A tal fine, abbiamo bisogno di un segnale di clock che sarà il motore che farà funzionare il circuito. Come abbiamo già detto, è necessario disporre di un segnale di clock che sia molto rapido e per questo, se utilizziamo l'esperimento TECNICA 10 del circuito astabile con ciclo variabile, avendo una frequenza bassissima, dobbiamo cambiare qualche componente perché possa servirci e niente è più facile che cambiare il condensatore. Così lo faremo passare da 22 µF a 2,2 µF. Fra i tre possibili LED bisogna accertare quale si accenderà 10 volte più rapidamente. Per osservare il funzio-

Bisogna accertarsi, tra i tre possibili LED, quale si accenderà

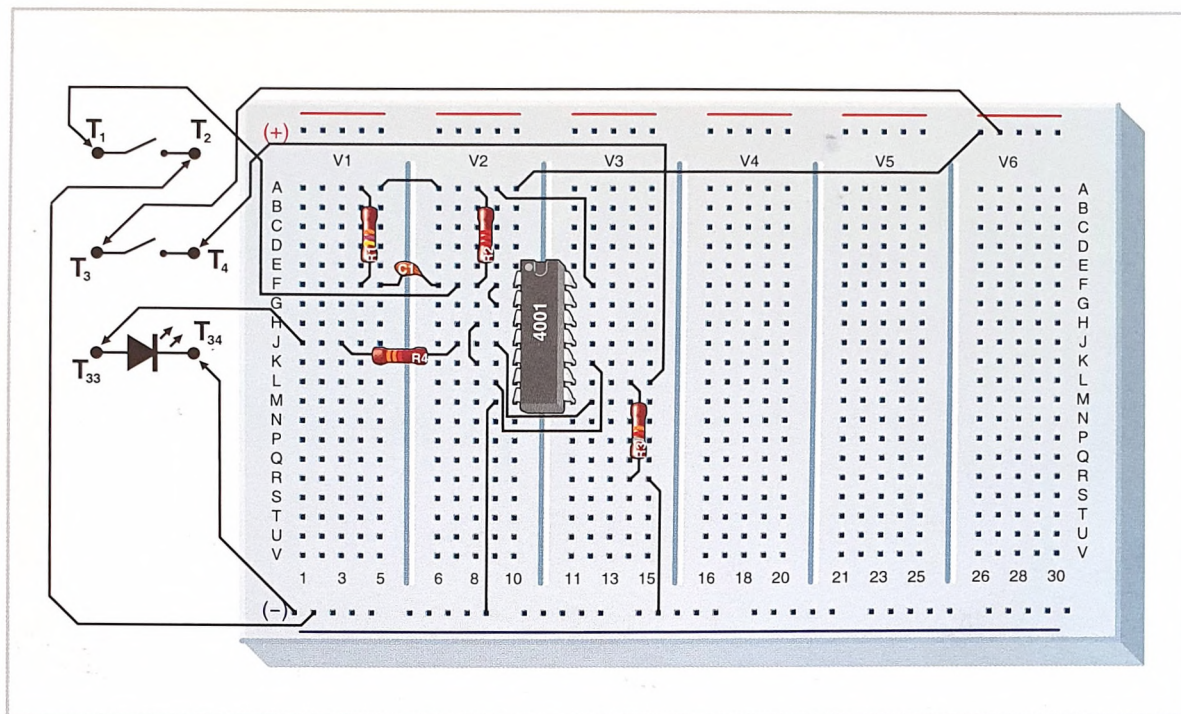
Lotteria elettronica

COMPONENTI	
R1	1M
R2,R3,R5	2K2
P1	100K
D1,D2	1N4001
C1	22µF (2,2µF)
U1	4011
U2	4017
LED5, LED6, LED7, LED8	

namento del circuito, raccomandiamo di cominciare con 22 µF. C'è un'altra procedura grazie alla quale possiamo ottenere il segnale di clock. Anche se può sembrarci alquanto strano, potremmo essere noi stessi "fonte" del clock: infatti, siamo fonte di interferenze e a causa dell'alta impedenza d'entrata dei circuiti CMOS, questi ultimi possono captarle e interpretarle come livelli logici '0' e '1'. In questo modo, con l'estremità del filo che va al terminale CLK del nostro integrato tra le nostre dita, vedremo come il circuito conti così rapidamente che potrebbe sembrare che i tre diodi siano accesi; allontanando il filo, uno dei tre diodi si fermerà.

Funzionamento

Una volta collegati il circuito del clock e l'alimentazione, il circuito è già operativo perché la sua entrata, attivata a livello basso mediante la resistenza R1 di 1M, abilita il funzionamento (ENABLE). Il circuito integrato commuta il segnale di uscita tra le tre uscite Q0, Q1 e Q2, cosicché arrivando a Q3 il segnale giunge al terminale del RESET e passa nuovamente all'uscita che attiva Q0.

Per arrestare il conteggio ci si avvale della connessione tra il terminale 13 del 4017 e V6.

Bistabile con porte NOR

Il circuito memorizza il valore 'zero' oppure il valore 'uno'.

Questa cellula di memoria consente di memorizzare uno stato temporaneo rilevato in un circuito. Se, per esempio, nella nostra abitazione entra un estraneo e possediamo un sensore di presenza, possiamo rilevare quando gli passa davanti, ma non ci sarà memoria del passaggio se non per i danni eventualmente causati.

Affiché rimanga una prova permanente, con una spia accesa o un allarme attivato, dobbiamo memorizzare il cambiamento di livello fornito dal sensore quando rileva l'intruso. Il circuito rilevatore, per memorizzare lo stato di allarme, unirà momentaneamente i terminali T3 e T4.

Funzionamento

Il circuito possiede due entrate, una chiamata SET che pone al livello alto '1', mantenendola in questo stato fino a quando non si attiva l'altra entrata, 'RESET', che pone l'uscita al basso livello '0'. In realtà, il circuito ha due uscite disposte nei terminali 4 e 10 del circuito integrato. Le due uscite sono invertite, l'una, cioè, possiede sempre lo stato opposto rispetto all'altra. Quello che il circuito fa, in realtà, è memorizzare una variazione: infatti mantiene il suddetto stato anche se non esistono variazioni successive.

In questo stato iniziale, quando si collega l'alimentazione, si produce una situazione in cui una delle due uscite sarà '1', mentre l'altra sarà '0'. Se le due entrate fossero a livello alto '0', all'uscita risulta quanto era successo prima, ma all'accensione potrebbe verificarsi che in Q ci sia un '1' o uno '0' e all'altra uscita $\overline{Q}$ il contrario.

Il circuito si attiva a livello alto

Il circuito

A sinistra dello schema abbiamo la porta U1A che, assieme ai componenti R1, R2 e C1, forma un circuito di generazione di brevi impulsi. Ogni volta che premiamo P1, il circuito genera all'uscita un impulso molto stretto che collegheremo direttamente all'entrata RESET del bistabile, cosicché ogni volta che pigeremo P1 il bistabile pone la sua uscita a '0' che equivale allo spegnimento del diodo LED. Il bistabile è stato montato con il suo tipico circuito: l'uscita di una delle porte va all'entrata dell'altra e ha direttamente alla sua

Bistabile con porte NOR

COMPONENTI	
R1	47 K
R2	2K2
R3	82 K
R4	3K3
C1	100 nF
U1	4001
P1,P2	
LED8	

entrata SET un pulsante P2 per attivare l'uscita a livello alto '1' a ogni oscillazione.

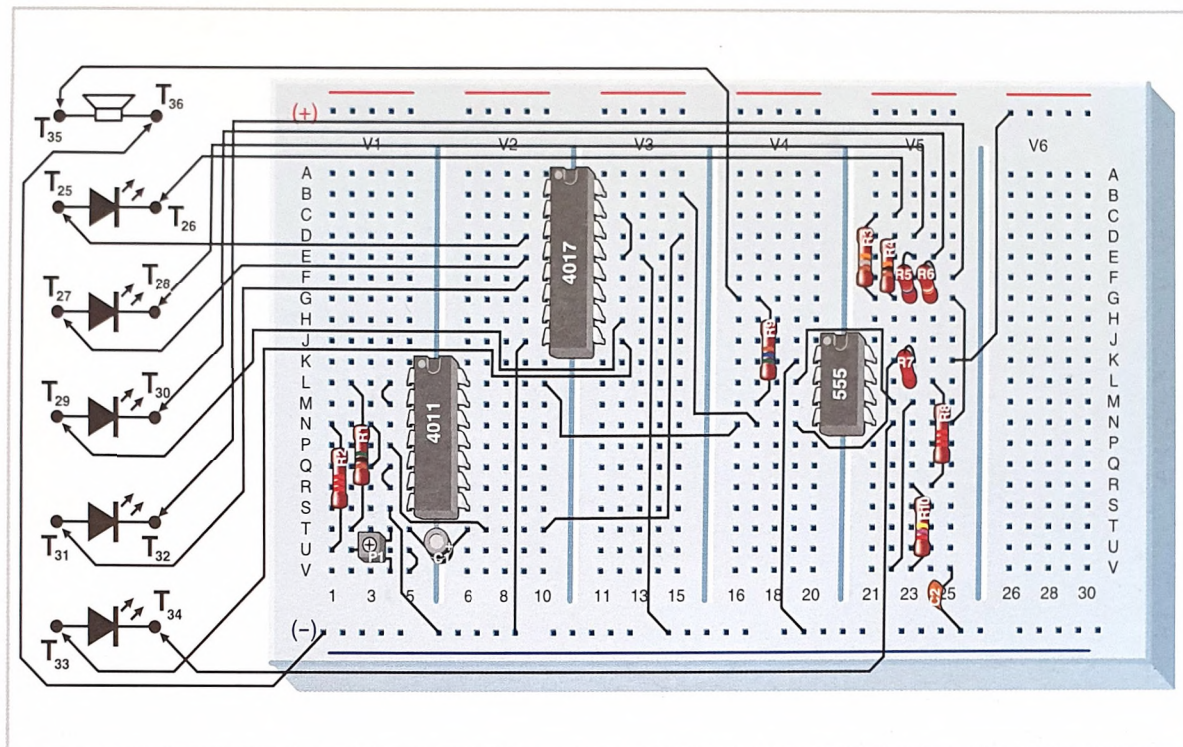
Ora, se scolleghiamo la resistenza R4 dal terminale 4 del circuito integrato e la colleghiamo al terminale 10 dello stesso, stiamo utilizzando un'uscita invertita rispetto a quella che avevamo prima. In questo caso il pulsante P1 viene utilizzato per accendere il diodo LED, mentre P2 viene utilizzato per spegnerlo.

Pigiando P2, il diodo LED LD8 si accende, mentre pigiando P1 si spegne.

Sperimentazione

Solitamente, questo circuito non viene usato isolatamente, ma come parte integrante di altri circuiti di maggior complessità, il rilevatore di rottura di filo, per esempio (CONTROLLO 14). È un circuito molto utilizzato, come le porte NAND del resto, come circuito antirimbalzo, perché ogni volta che schiacciamo un pulsante si rileva solamente un impulso e non tutti i rimbalzi che in realtà vengono prodotti.

Carillon musicale

Il circuito suona una melodia di cinque note.

Può esserci capitato, qualche volta, di suonare il campanello di una porta e di sentire, invece del solito "din don", una gradevole successione di note. Anche se le melodie esistenti sono molte, vi diamo la possibilità di creare suoni diversi e di eseguirli nella sequenza voluta.

Il circuito

Mediante il circuito integrato 555, che funziona come astabile (TECNICHE 11) e senza variare né resistenze né condensatore, generiamo all'uscita un segnale – avente la frequenza fissa – che produce un suono nell'altoparlante, suono che percepiamo nel nostro orecchio come un ronzio. Per poterne cambiare la frequenza, e di conseguenza il tono, senza alterare i componenti dell'oscillatore astabile – resistenze e condensatore – dobbiamo demodulare questo segnale. Quindi, per conseguire differenti suoni, dovremo cambiare il valore della resistenza per ciascuno di questi suoni. Faremo tutto ciò automaticamente, collegando le uscite del 4017 alle resistenze dei punti A, B, C, D ed E.

Ogni suono corrisponde a un valore della resistenza

Sequencer digitale

Come abbiamo già avuto modo di dire, per produrre un tono di frequenza diversa è sufficiente collegare al terminale 5 del 555 una resistenza.

Il circuito integrato 4017 è un contatore ad anello, la cui uscita è a livello alto e va spostandosi, iniziando da Q0, a ogni impulso del clock ricevuto nel suo terminale del clock CKL. Questo circuito sarà quello incaricato di creare la sequenza di diversi suoni del nostro carillon. A tal fine, basterà collegare 5 resistenze diverse al terminale 5 del 555 e mediante i diodi LED renderle indipendenti di modo che solamente l'uscita a livello alto del 4017 sia quella che si collega al suddetto terminale. Questo circuito, attraverso la frequenza del clock dell'entrata (vedi DIGITALE 5), segnerà il ritmo della melodia, il tempo, cioè, la durata del tempo di ciascuno dei toni.

Carillon musicale

COMPONENTI	
R1	1 M
R2,R7,R8	2K2
R3	18 K
R4	10K
R5	6K8
R6	3K9
R9	560 Ω
R10	270 K
P1	100K
C1	22 µF
C2	2,2 nF
U1	4017
U2	555
U3	4011
LED4,LED5,LED6	
LED7,LED8	
ALTOPARLANTE	

Sperimentazione

Le modifiche che possiamo attuare al circuito per adeguarlo ai nostri gusti sono parecchie. Da un lato, variando il potenziometro P1, possiamo modificare il tempo in cui si può sentire ciascuna nota dipendendo esattamente dal periodo del segnale del clock che ci eroga il circuito astabile e che si applica al terminale 14 di U1. Per quanto riguarda la frequenza dei diversi suoni, per riuscire ad ottenere un suono che sia più o meno di nostro gusto, possiamo variare la resistenza R10 nel circuito integrato 555. Abbiamo anche la possibilità di cambiare le resistenze R3, R4, R5 e R6.

I diodi LED saranno incaricati del fatto che l'unica resistenza dell'uscita attiva sia quella che influisce sulla modulazione.

Qualche considerazione sul montaggio del circuito

Nei circuiti di una certa complessità dovremo aumentare le precauzioni: potremmo facilmente dimenticarci di collegare un'alimentazione o un terminale. Per far funzionare il sequenziatore, dobbiamo collegare i terminali 13 e 15 del 4017 al negativo dell'alimentazione. Non dobbiamo tralasciare, inoltre, di collegare a V6 i terminali 4 e 8 del 555.

Un LED si accende e a ciascun impulso di clock si spegne, mentre si accende il successivo.

I giochi di luci che si spostano da un lato all'altro sono oggigiorno comuni in molte insegne delle nostre vie e piazze.

Con questo circuito potremo realizzare, su piccola scala, un gioco di diodi LED che simulerà perfettamente una luce in corsa accendendo un diodo LED in maniera tale da sembrare che si sposti. Esistono, comunque, anche altre possibilità.

Il circuito

Il circuito illumina uno per volta i diodi LED da LD1 a LD8, cosicché a ogni impulso del clock si illumina il diodo successivo fino all'ultimo dal quale ritorna al primo. Tutto ciò si verifica a una velocità controllabile mediante il cursore del potenziometro P1, che controlla la velocità di spostamento del LED acceso.

Con i componenti indicati si possono ottenere spostamenti che vanno da un ritmo lento a uno abbastanza veloce, anche se si possono cambiare i componenti per riuscire ad avere altri tempi.

Il cambiamento di diodi illuminati simula lo spostamento

Realizzazione del clock

Per ottenere l'effetto dello spostamento, per far sì, cioè, che si accenda prima un diodo LED, poi il successivo e così via fino ad arrivare all'ultimo, da LD1 a LD8, introduciamo il segnale del clock proveniente dall'oscillatore astabile realizzato con un 4001. Il segnale di uscita dipende direttamente dal valore dei componenti R2 e C1.

La frequenza viene data dalla formula: $f = 1/[1,1 \cdot (R2 + P1) \cdot C1]$. I valori del circuito, quando varia P1, ci forniscono un margine di frequenze abbastanza ampio.

La frequenza di commutazione si osserva nella realtà quando tra l'accensione di un diodo e quella del successivo trascorre un lasso di tempo grande quanto la frequenza è bassa, e minore quanto la frequenza diventa più alta.

Funzionamento

Una volta conosciuto il funzionamento del clock del circuito, che sarà l'oscillatore astabile, lo collegheremo al 4017 all'entrata del clock

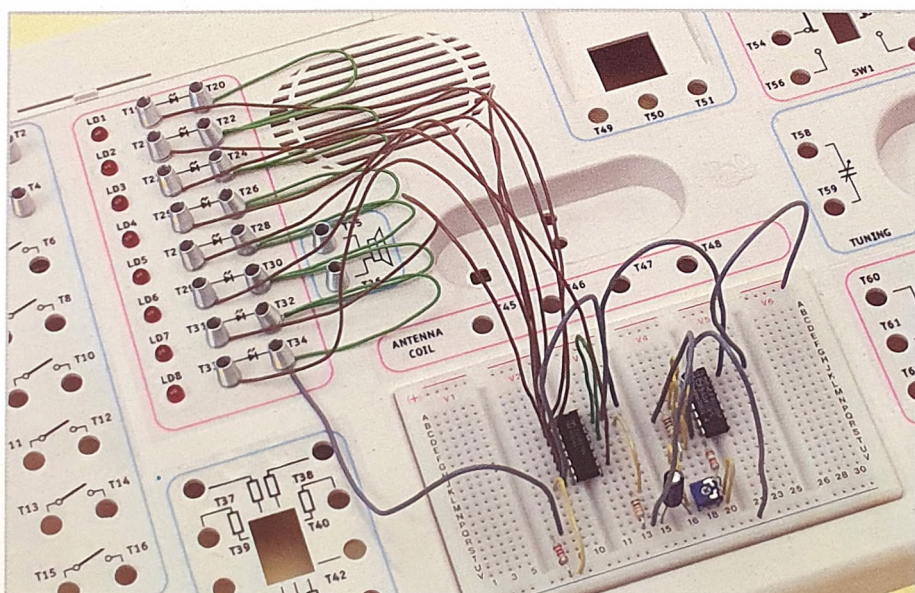
Luci in movimento

COMPONENTI	
R1	1 M
R2	3K9
R3	10 K
R4	2K2
P1	100 K
C1	22 µF
U1	4011
U2	4017
LD1 a LD8	

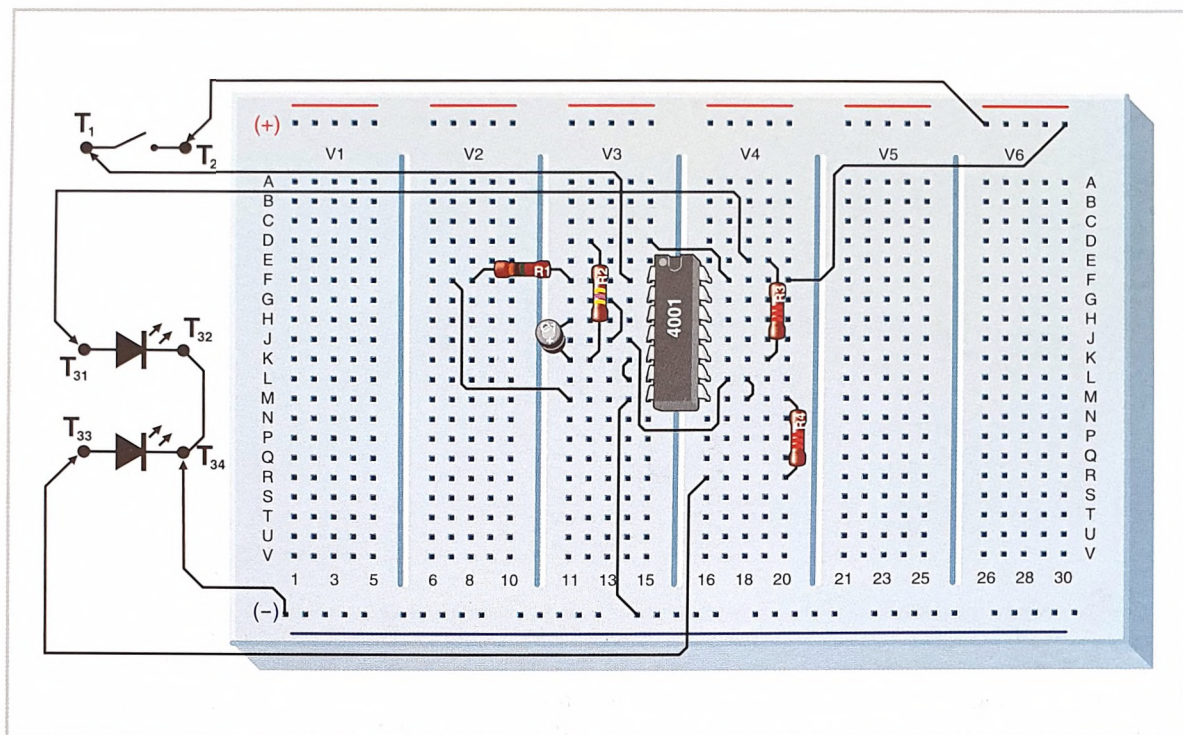
(CLK), per pilotarlo. Le altre due entrate di questo circuito integrato, RST e ENA, le colleghiamo al negativo dell'alimentazione (-), perché se così non fosse, a ogni ciclo del clock, non potremmo avere un'accensione del diodo LED successivo, in quanto il sistema si resetterebbe ad ogni impulso.

I catodi dei diodi LED vanno uniti a una resistenza unica, R4, perché ogni volta c'è solamente un diodo illuminato, per cui la resistenza limitatrice agirà solamente per un diodo.

Esperimenti

Per quanto riguarda i componenti, possiamo aumentare o diminuire il valore delle resistenze e del condensatore dell'oscillatore per ottenere altri tempi, se la variazione tra l'uno e l'altro non è di nostro gusto. Un aumento rallenterà ancora lo spostamento, mentre una diminuzione del valore di uno dei componenti lo renderà più veloce. La cosa più semplice è la sostituzione del condensatore con un altro da 1µF, o da 10 µF, per aumentare il ritmo; è semplice anche collegare in parallelo un condensatore da 22 µF e uno da 10 µF per ottenere una minore velocità.

I LED vengono collegati alle uscite del 4001 tramite un'unica resistenza limitatrice.

Monostabile con 4001

Stabiliremo il tempo in cui l'uscita sarà a livello alto.

Il circuito è un oscillatore monostabile che, come indica il suo nome, possiede un unico stato stabile. Di norma, il circuito ha la propria uscita a '0' (terminale 4 del circuito integrato) e quando introduciamo nell'entrata un segnale – chiamato segnale d'accensione perché attiva il temporizzatore e che altro non è se non un passaggio da '1' a '0' –, si attiva l'uscita nel lasso di tempo che abbiamo precedentemente calcolato e che verrà stabilito dai componenti del circuito.

L'accensione avviene con un passaggio all'entrata da un livello basso a un livello alto

Il circuito

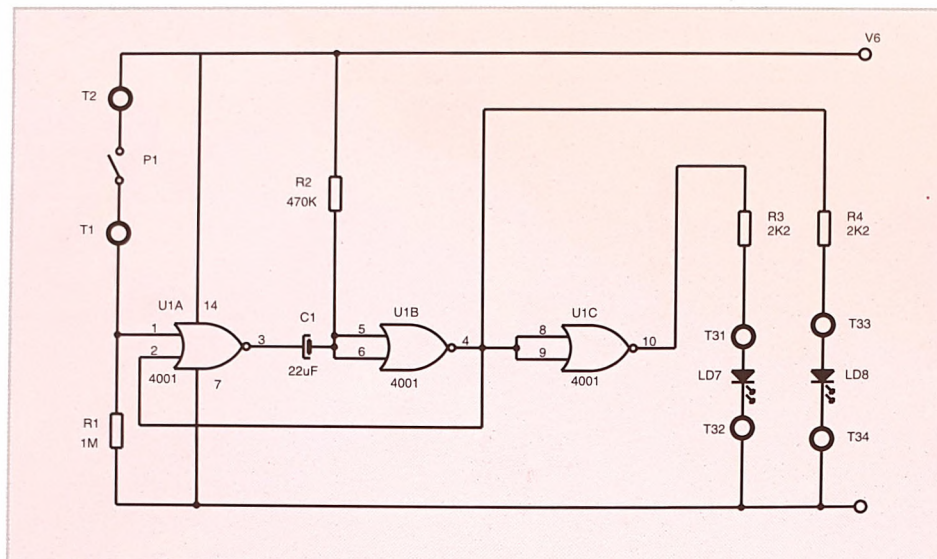
L'utilità del circuito consiste nell'attivare un altro circuito per una determinata durata di tempo. Non avremo una notevole precisione, ma possiamo ottenere tempi che vanno da qualche microsecondo fino ad alcune decine di secondi. Nello schema possiamo vedere che per accenderlo dobbiamo utilizzare il pulsante P1, in serie con la resistenza R1. In questo modo, quando il pulsante è aperto attraverso la resistenza R1, la porta U1A ha l'entrata del terminale 1 collegata al negativo dell'alimentazione, e quindi non si accende.

Controllo della temporizzazione

La formula che determina il tempo in cui il segnale di uscita (terminale 4 di U1B) è a livello alto è la seguente: T = 1,2•R2•C1. Se il condensatore è elettrolitico, come in questo caso, dobbiamo rispettare la polarità indicata, di modo che il positivo rimanga sempre rivolto verso il lato della resistenza R2 di 470 K. Nel caso in cui il condensatore non sia elettrolitico, l'ordine di inserzione dei suoi terminali non ha importanza.

Avviamento

Il circuito ha l'uscita collegata al LED LD8 attraverso una resistenza limitatrice; abbiamo anche l'uscita invertita che possiamo vedere connessa al diodo LED LD7. Per invertire l'uscita si forma una porta invertente con la porta U1C unendo le sue due entrate.

Monostabile con 4001

COMPONENTI	
R1	1 M
R2	470 K
R3, R4	2K2
C1	22 μF
U1	4001
P1	
LD7, LD8	

Con i componenti del circuito e sostituendoli, possiamo ottenere una temporizzazione di circa 12 secondi, pertanto, in situazione di riposo, senza cioè toccare il pulsante e con l'alimentazione collegata, il diodo LED LD8 rimarrà spento e il diodo LD7 illuminato; quando pigiamo P1 l'entrata del terminale 1 di U1A verrà posta ad alto livello e il monostabile si attiverà; l'uscita, quindi, passerà a livello alto e il diodo LD8 si illuminerà mentre il diodo LD7, essendo invertito, si spegnerà.

In stato di riposo, il diodo LD8 è spento, mentre il diodo LD7 è acceso.

Esperimenti

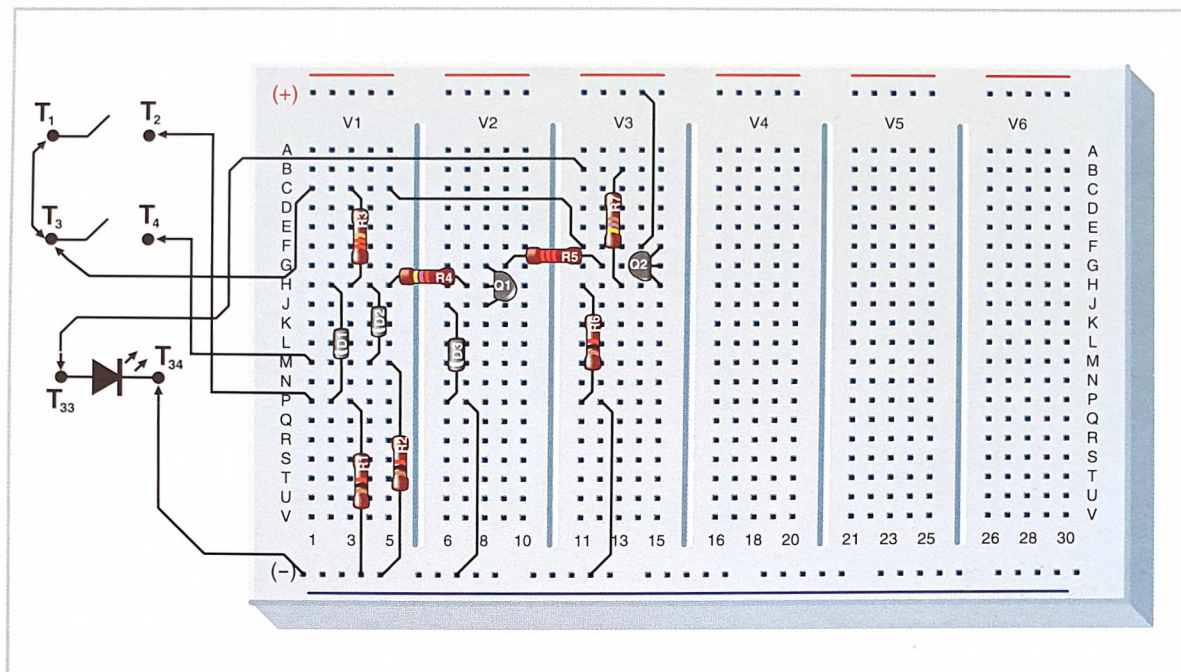
Se vogliamo aumentare la temporizzazione del monostabile, abbiamo varie opportunità: aumentare R2, aumentare C1 oppure ambedue le cose.

Se, invece, vogliamo diminuire la temporizzazione, lo potremo fare riducendo il valore di uno qualsiasi dei suddetti componenti.

Possiamo vedere teoricamente questo effetto considerando la sua formula. Per aumentare la capacità di C1, possiamo collocare in parallelo un altro condensatore, quello ad esempio da 10 μF; in questo modo ne otterremo uno da 32 μF.

Se collochiamo, invece, dei componenti per far sì che il tempo sia ridottissimo (stiamo parlando di millisecondi o anche meno), sembrerà che i diodi LED rimangano sempre accesi: l'occhio umano, infatti, non è capace di captare variazioni così veloci.

Porta AND DTL

Porta logica AND realizzata grazie alla tecnologia Diodo-Transistor.

Quando si parla di una porta logica, oggi, si pensa a un circuito integrato; esiste, però, la tecnologia diodo-transistor per realizzare le porte logiche. Hanno come vantaggio la velocità e come svantaggio l'alto consumo. Godettero di una certa importanza fino a quando si riuscì a costruire circuiti veloci utilizzando altre tecnologie.

Il circuito

Trattandosi di una porta AND, affinché la sua uscita sia a 'uno', le sue due entrate devono essere a livello 'uno'; in questo caso, il livello 'uno' dell'uscita si evidenzia con l'accensione di un diodo LED LD8. Le entrate, corrispondenti ai terminali identificati come T2 e T4 collegate ai pulsanti, sono a livello 'zero' quando sia P1 che P2 non sono stati premuti. Per applicare a qualsiasi entrata il livello 'uno' basta premere il pulsante corrispondente.

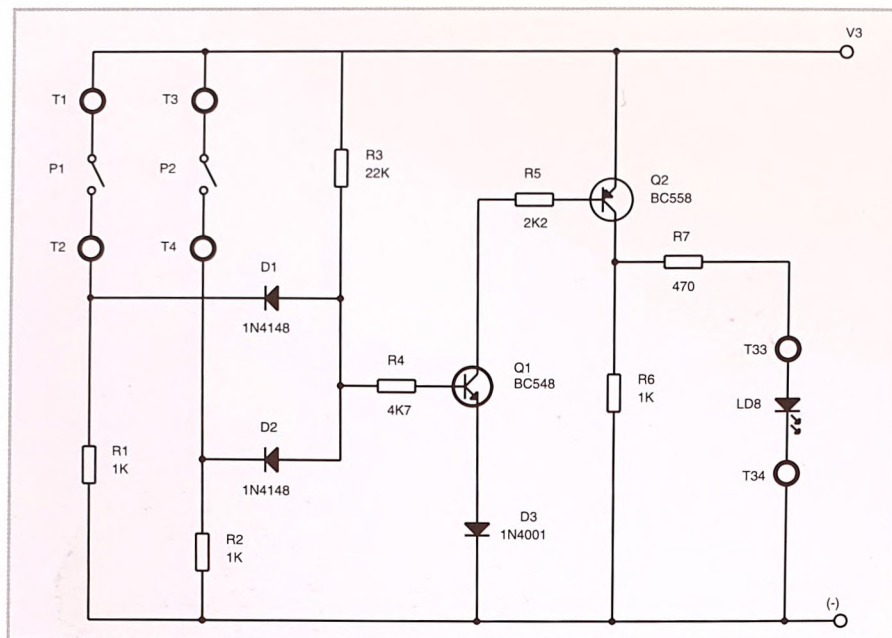
Entrate a livello 'zero'

Quando una delle entrate è a livello 'zero', la corrente che circola attraverso la resistenza R3, passa dal diodo D1 o D2 a una resistenza da 1K, collegata al negativo dell'alimentazione per l'altra estremità. In questo caso, la corrente che dovrebbe passare alla base del transistor, attraversa la resistenza da 1K; di conseguenza, il transistor Q1 non conduce e non conducendo nella resistenza R5 non circola corrente. Quindi, il transistor Q2 non conduce e il diodo LED non si illumina perché non esiste passaggio di corrente. Per fare in modo che il diodo LED sia spento, è sufficiente che anche una sola entrata sia a 'zero'.

Entrate a livello 'uno'

Quando le due entrate sono a livello 'uno', con i due pulsanti chiusi, i diodi D1 e D2 risultano polarizzati in modo inverso, perché nel loro catodo c'è una tensione superiore a quella esistente nel loro anodo. In questa situazione, è come se i due diodi non esistessero; la resistenza R3 è unita in serie alla R4. La corrente che circola in queste resistenze è quella di polarizzazione della base del transistor Q1. La corrente del collettore di Q1, a sua volta, è la corrente della base di Q2; quest'ultimo risulta anch'esso polarizzato ed entra in stato di conduzione consentendo il passaggio della corrente in R6 e R7: la corrente circolante in

Porta AND con componenti discreti

Porta AND DTL

COMPONENTI	
R1, R2	1 K
R3	22 K
R4	4K7
R5	2K2
R6	1 K
R7	470 Ω
Q1	BC548
Q2	BC558
LD8	
P1	
P2	

R7, per la precisione, è quella che fa illuminare il diodo LED LD8.

Il montaggio

Il circuito teorico è funzionante, ma dobbiamo montare il circuito per poterlo verificare in realtà.

Porta AND con transistor e diodi.

Dobbiamo fare attenzione a tutte le connessioni per non commettere errori; dobbiamo stare attenti soprattutto alla polarità dei diodi ed evitare di confondere i transistor: infatti, Q1 è un NPN, mentre Q2 è un PNP.

L'esperimento

Effettuato il montaggio, verificheremo che l'alimentazione abbia un valore di 4,5 Volt; l'alimentazione, a tal fine, viene presa da V3. Si deve sottolineare che il circuito non funziona correttamente con delle tensioni superiori. In stato di riposo, i pulsanti P1 e P2 non sono stati azionati e, quindi, a tutte le due entrate c'è uno 'zero' logico e il diodo LED deve essere spento. Premendo P1 vedremo che il diodo continuerà a rimanere spento; rilasceremo P1 e schiacceremo P2, e ancora il diodo rimarrà spento. Il diodo LED si accenderà solamente se premeremo simultaneamente sia P1 che P2.

Contatore binario standard

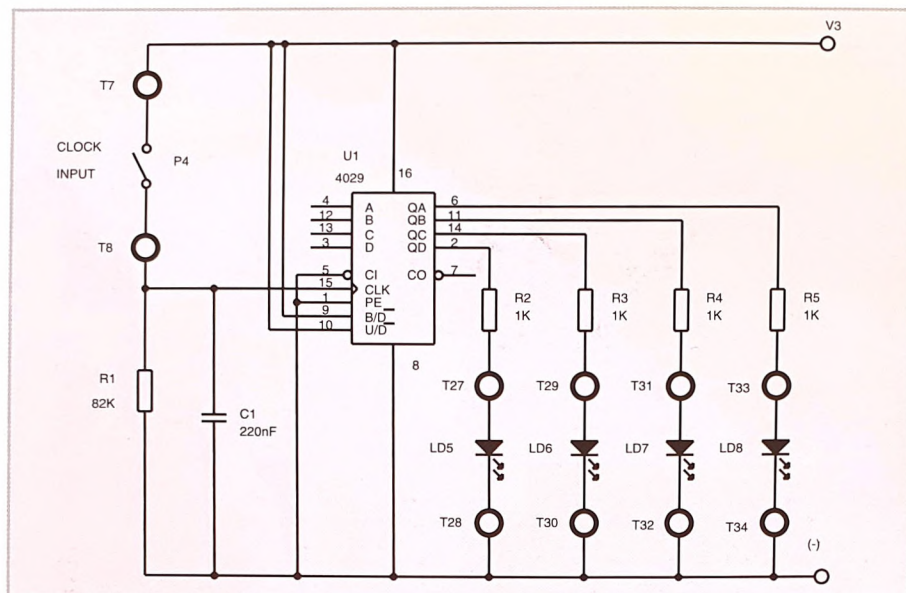
Il circuito ci consentirà di vedere passaggio per passaggio i diversi valori che il codice binario a 4 bits andrà prendendo. A tal fine utilizzeremo un circuito contatore che ad ogni impulso del clock incrementerà il valore dell'uscita. Ciascuna delle 4 uscite ha un diodo LED che ci permetterà di verificarne direttamente lo stato e di visualizzare così il codice di quattro bits che formano.

L'integrato

Il 4029 è un circuito integrato di grande utilità e dalle molte applicazioni in elettronica. Possiamo inserirlo nei contatori da 4 bits, dato che consente quasi tutte le opzioni che un integrato di questo tipo può avere. Le 4 uscite dell'integrato che formano il codice binario vanno cambiando ogni volta che entra un impulso di ingresso attraverso il terminale CKL, sigla che definisce il terminale dell'orologio (clock) e attraverso il quale il circuito riceve l'ordine di cambiare il codice successivo, cioè di incrementare il conteggio. Per far ciò si introduce un impulso, oppure, che è la stessa cosa, un cambiamento dal livello basso '0' al livello alto '1'. Se il terminale 9 è a livello alto, il conteggio sarà realizzato in binario puro e quindi l'uscita varierà tra 0000 e 1111.

Facciamo qualche appunto su ciò a cui si riferisce il segnale del clock. Il segnale del clock non è un segnale speciale, non deve essere, cioè, un segnale quadro e non importa nemmeno il tempo in cui il segnale è a livello alto '1' o a livello basso '0', nell'ambito del periodo. Di norma, comunque, si dispone di un ciclo di lavoro del 50% (metà del periodo '1' e metà del periodo '0'). L'integrato è preparato anche per essere collegato a cascata con altri contatori, cosicché si possa incrementare il conteggio oltre a 1111 = 15; a tal fine utilizzeremo i segnali CI e CO. Grazie a questa opzione possiamo contare fino al valore che vogliamo, ricordandoci sempre che il massimo valore del conteggio verrà dato da N, il numero di bits dell'uscita, e che il valore massimo sarà sempre dato da $2^N - 1$. Per 4 bits, per esempio, abbiamo $2^4 - 1 = 15$. L'integrato ammette anche un'altra serie di opzioni, che vedremo negli altri esperimenti, così da poterlo conoscere approfonditamente.

Ogni bit in stato '1' viene visualizzato con un LED.

Contatore binario standard

COMPONENTI	
R1	82K
R2-5	2K2
U1	4029
C1	220 nF
P4	
LD5, LD6, LD7, LD8	

Funzionamento

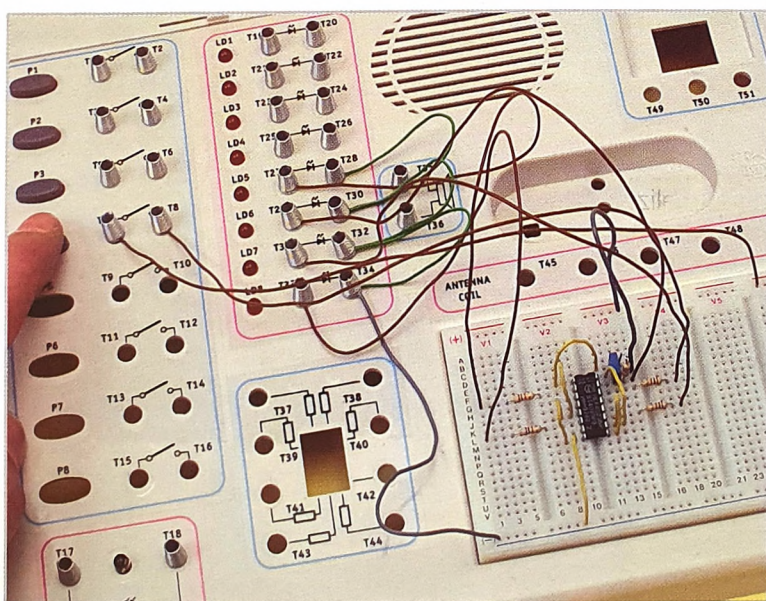
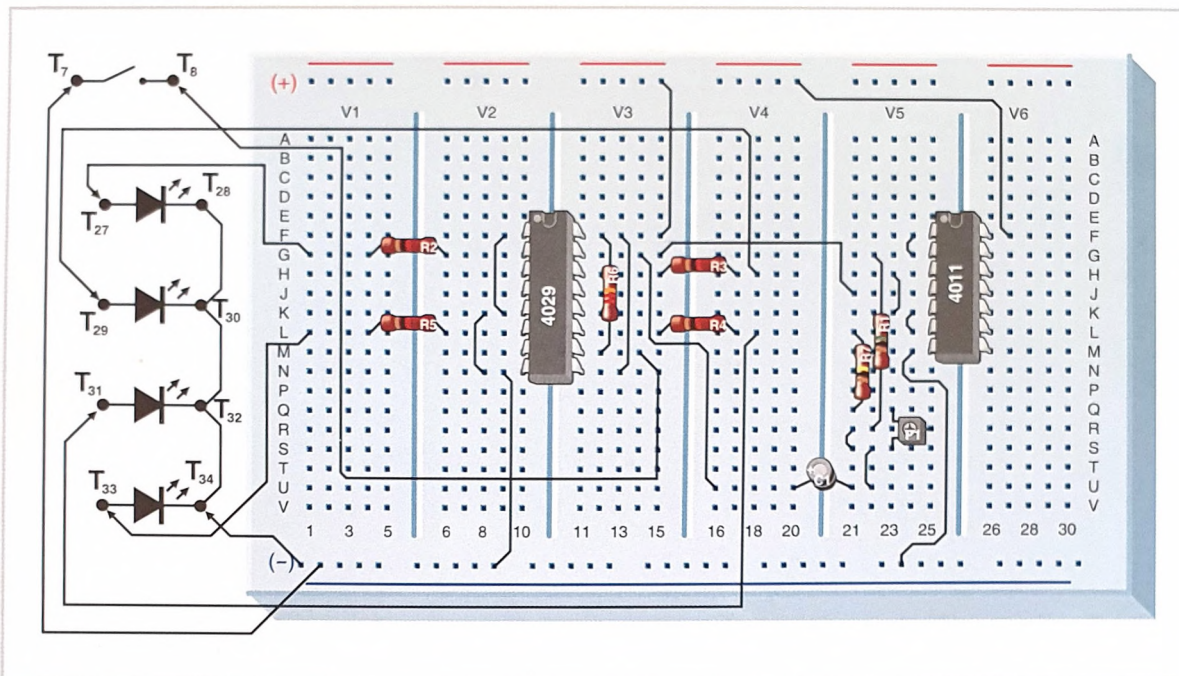
Innanzitutto, per visualizzare le 4 uscite di cui dispone il nostro circuito contatore, QA–QD, sono stati direttamente collocati 4 diodi LED. Essendo un integrato del tipo CMOS, grazie all'uscita bufferizzata può sopportare la corrente dei 4 LED nel medesimo tempo; le resistenze di polarizzazione evitano che il consumo sia eccessivo. Tutti i segnali d'entrata, eccetto quello del clock, vanno posti ai livelli raccomandati dallo schema perché possa contare da 0 a 15, in binario puro. Collocare l'entrata CI, terminale 5, a massa, è importante perché l'integrato funzioni correttamente. L'entrata del clock è normalmente a livello basso mediante la resistenza R1 e quando pigiamo P4 si produce un cambiamento di livello che darà luogo all'impulso di cui il contatore ha bisogno per incrementare la propria uscita a un altro numero superiore, o se ha già raggiunto il valore di massimo conteggio, 1111, il successivo impulso lo farà passare a 0000. Se non avessimo il condensatore C1, la maggior parte delle volte che pigeremmo il pulsante P4, potrebbero prodursi rimbalzi e il contatore potrebbe incrementare il suo conteggio di più unità. Possiamo realizzare l'esperimento togliendolo e verificandolo.

Ogni volta che P4 viene pigiato, il contatore avanza.

TAVOLA DI CODICE BINARIO

Decimale	Numero QD	QC	QB	QA
0	0	0	0	0
1	0	0	0	1
2	0	0	1	0
3	0	0	1	1
4	0	1	0	0
5	0	1	0	1
6	0	1	1	0
7	0	1	1	1
8	1	0	0	0
9	1	0	0	1
10	1	0	1	0
11	1	0	1	1
12	1	1	0	0
13	1	1	0	1
14	1	1	1	0
15	1	1	1	1

Contatore ascendente/discendente

Il contatore a 4 bits conteggia in avanti o indietro in binario.

Il circuito ci permetterà di imparare definitivamente il codice binario, cosicché potremo cambiare l'uscita in modo che incrementi o diminuisca. Il codice di uscita cambierà automaticamente, perché il segnale del clock verrà direttamente fornito da un oscillatore astabile che funziona abbastanza lentamente così da darci abbastanza tempo da poter riconoscere il codice.

Il contatore

Il contatore realizzato con il 4029 ci permetterà di contare in binario puro con 4 bits, da 0000 a 1111. Le uscite verranno direttamente visualizzate dai diodi LED LD5 e LD8. Per poter contare in binario puro dobbiamo collocare il terminale 9 dell'integrato a livello alto, e quindi lo collegheremo all'alimentazione. Come sempre, l'integrato inizia il conteggio dal valore 0000; collegheremo il terminale dell'entrata 1 al negativo dell'alimentazione. Perché il contatore conteggi in maniera ascendente o discendente si deve agire sul terminale 10U/D, che significa UP/DOWN (alto/basso). Questo terminale collocato a livello alto farà sì che il 4029 conteggi in maniera ascendente e arrivato alla fine ricominci da zero. Se collochiamo a livello basso il terminale 10, il conteggio avverrà da 15 a 0 e una volta arrivato a questo valore ritornerà a 15. Per collegare questo terminale a livello basso si deve mantenere premuto il pulsante P4.

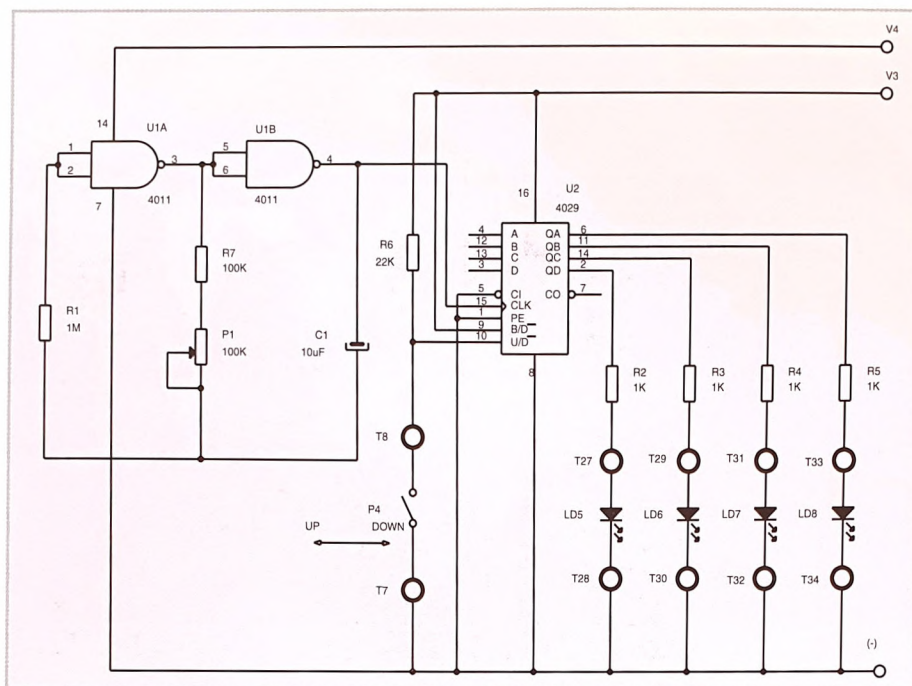
Ogni bit in stato '1' viene visualizzato con un LED.

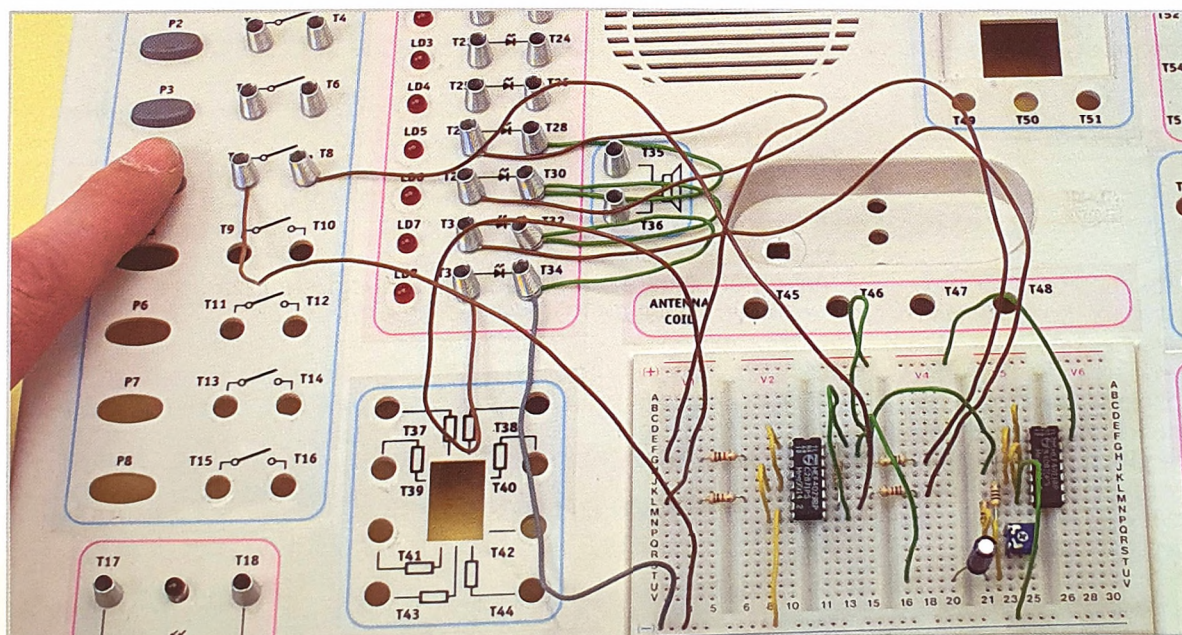
Come ottenere il clock

Vista la teoria, realizziamo adesso il montaggio reale. Quando abbiamo collegato tutti i componenti come indicato nello schema, perché tutto funzioni ci avvarremo di un clock. A noi interessa che abbia una frequenza lenta, che ci permetta di visualizzare i diversi stati di uscita ad uno ad uno; potremo, quindi, utilizzare l'esperimento "Digitale 5" effettuando qualche cambiamento per ottenere un segnale di minor frequenza. A tal fine collocheremo un potenziometro da 100K in modo da poter variare la frequenza in uscita. Questo è il periodo di tempo che trascorre da uno stato logico al successivo.

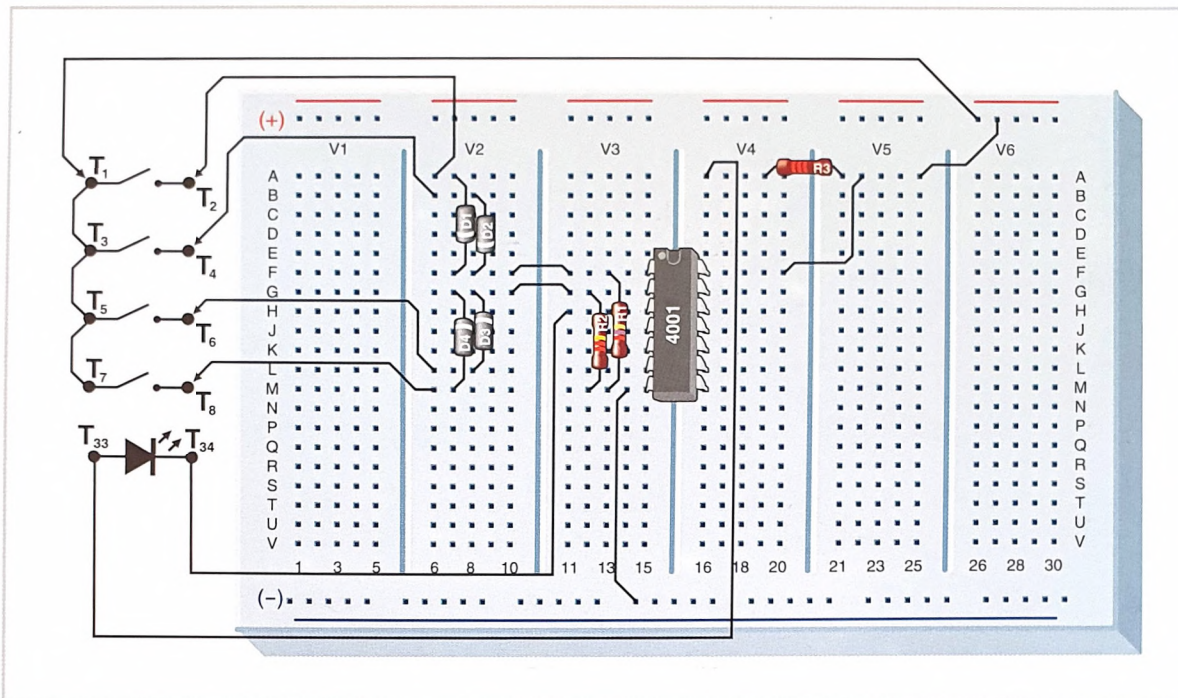
Avviamento

Una volta collegato il clock al circuito, basterà collegarlo all'alimentazione perché funzio-

Contatore ascendente/discendente

COMPONENTI	
R1	1 M
R2-R5	1 K
R6	22 K
R7	100 K
P1	100 K
C1	10 µF
U1	4011
U2	4029
LD5, LD6, LD7, LD8	
P4	

ni stabilmente. Con la tavola davanti e considerando che il clock varia rapidamente, possiamo ruotare il potenziometro fino ad arrivare alla variazione che vogliamo. Il conteggio è ascendente con P4 senza premere P4 e discendente con P4 premuto. Il circuito deve funzionare senza nessun problema una volta collegato. Se non funziona, verificheremo che i due integrati siano correttamente alimentati e che il condensatore elettrolitico sia inserito con la corretta polarità.

Perché il conteggio sia discendente il pulsante P4 va mantenuto premuto.

Porta NOR a quattro entrate

Perché il LED si illumini basta premere uno dei 4 pulsanti

Questo circuito si utilizza per aumentare il numero di entrate di una porta NOR. Con l'obiettivo di facilitare la realizzazione dell'esperimento si utilizzano 4 pulsanti che, se azionati, applicano un '1' all'entrata a cui sono collegati.

Utilizza una porta NOR e quattro diodi

Il circuito

Il circuito utilizza solamente una delle porte del circuito integrato 4001. A qualunque entrata a cui applichiamo un livello alto, l'uscita della porta sarà 'zero' e il diodo LED si illuminerà. Perché il LED non si accenda tutte le entrate devono essere a livello basso. C'è un dettaglio molto interessante. Utilizzando un diodo, i circuiti d'entrata diventeranno indipendenti; per questo motivo questo tipo di porte è molto utilizzato nei sistemi di allarme. Le resistenze R1 e R2 assicurano che le entrate siano poste a livello 'zero', soprattutto se sono collegate a cavi molto lunghi.

Esperimento 1

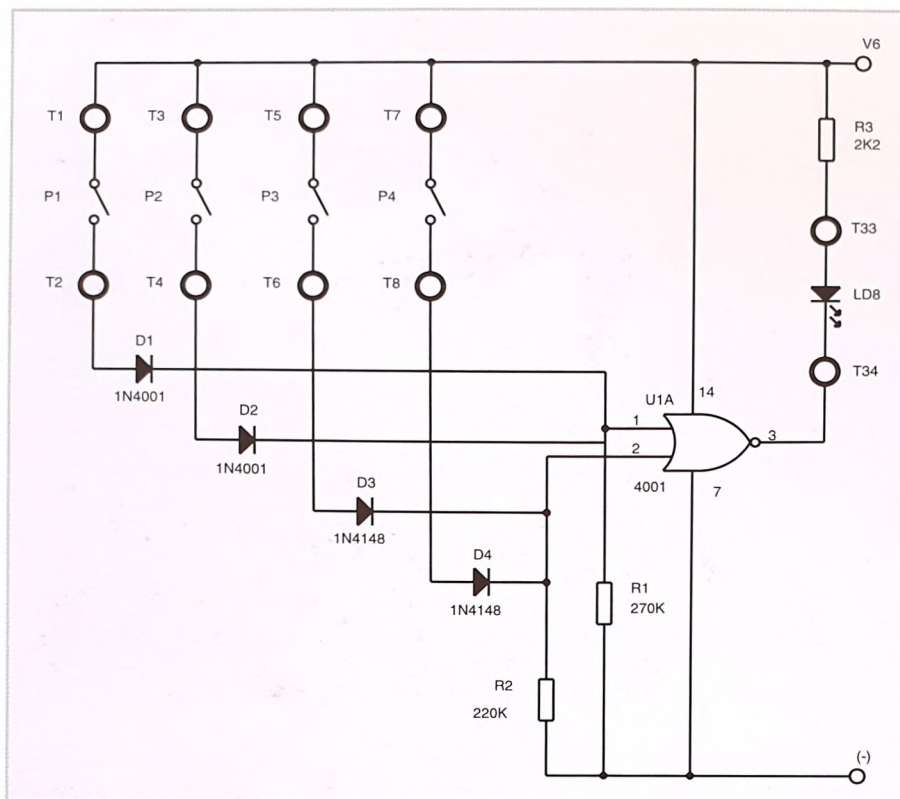
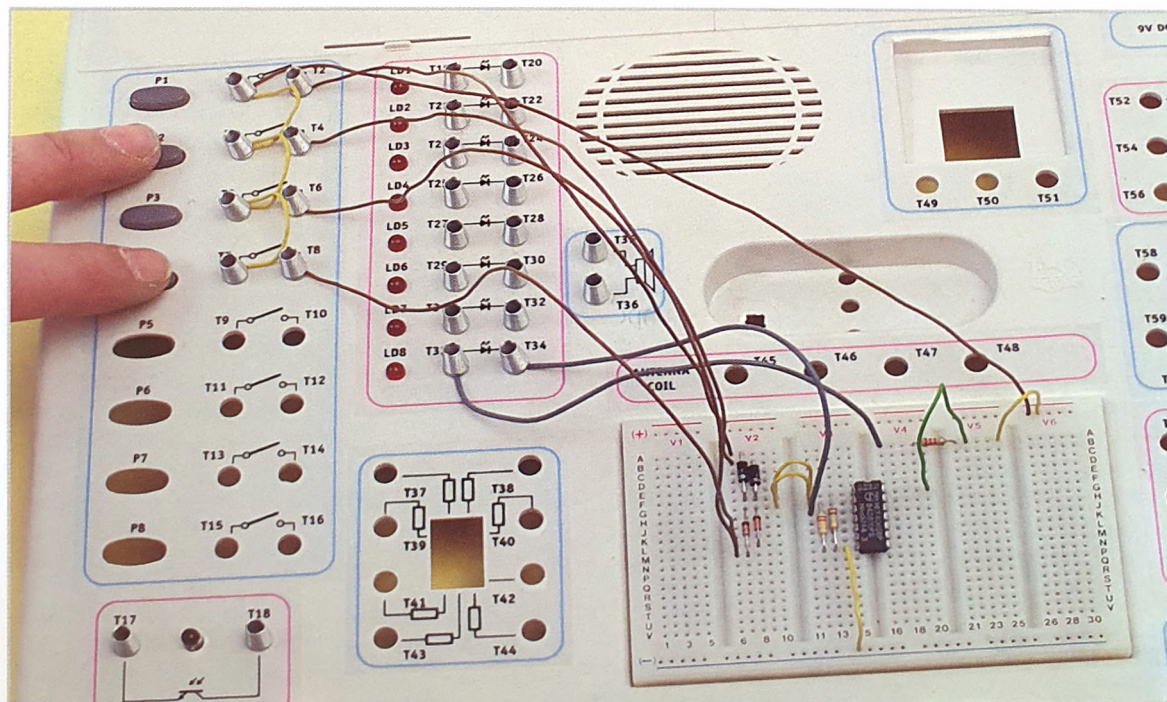
Il montaggio dei componenti sulla piastra del circuito stampato non presenterà molte difficoltà; ci si deve soffermare sulla collocazione del circuito integrato e sull'orientamento dei diodi; il terminale corrispondente al catodo è quello più vicino alla banda di identificazione. Il diodo LED LD8 si illumina solamente quando c'è almeno un pulsante premuto; perché, invece, non si illumini, tutti i pulsanti non devono essere premuti: devono avere uno 'zero' a tutte le entrate.

Esperimento 2

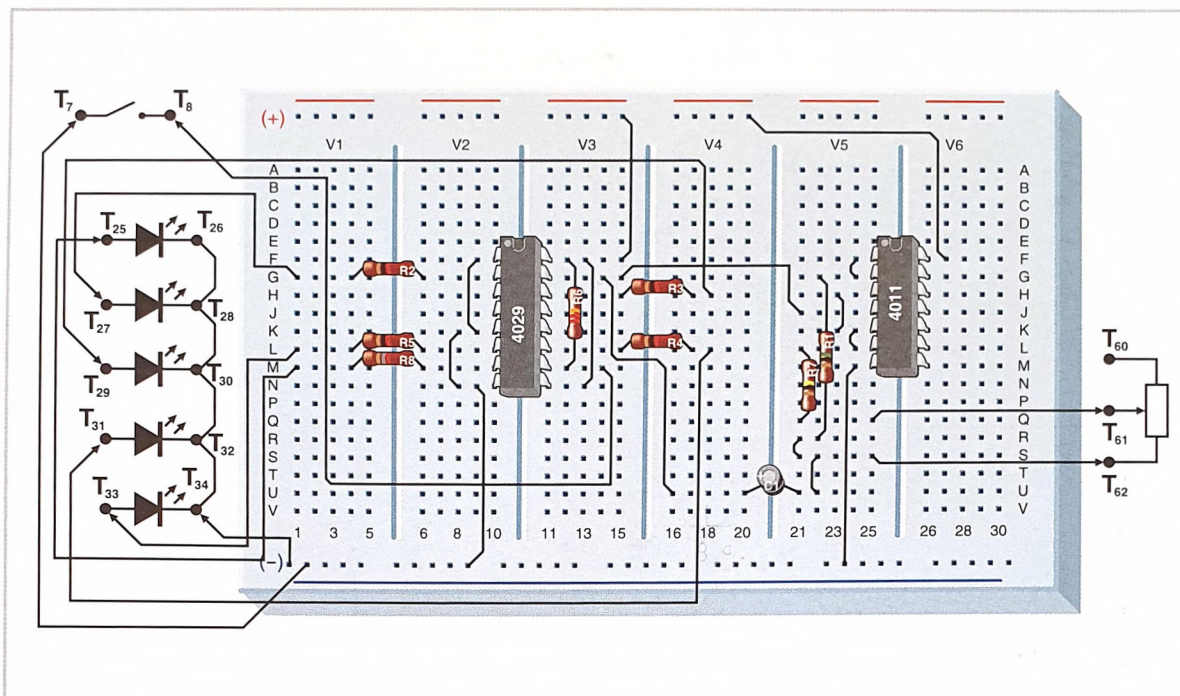
Si collega il LED di uscita tra il terminale 3 del circuito integrato e il negativo dell'alimentazione, interponendo anche la resistenza R3. In questo esperimento il LED si spegne premendo uno qualunque dei tasti e rimane illuminato se le 4 entrate sono a livello 'zero'.

Esperimento 3

Se si desidera invertire l'uscita, basta interporre tra l'uscita della porta NOR, terminale 3 del catodo del LED LD8, segnato come T34, una porta NOT o invertente che si può ottenere con una porta NOR unendo le sue entrate.

Porta NOR a quattro entrate

COMPONENTI	
R1	270 K
R2	220 K
D1, D2	1N4001
D3, D4	1N4148
U1	4001
LD8	
P1, P2, P3, P4	

Il LED si illumina quando un qualunque pulsante viene premuto.

Contatore BCD ascendente/discendente

Nel codice di uscita si rappresenteranno solamente i numeri che vanno dallo 0 al 9, ma in sistema binario.

Il circuito conta con il codice di rappresentazione BCD (binario decimale codificato) e possiamo cambiare l'uscita in modo da incrementare o diminuire il conteggio. Il codice d'uscita cambierà automaticamente perché il segnale del clock è ottenuto direttamente da un oscillatore astabile. Il suddetto codice sarà utilizzato nella rappresentazione dei numeri su display a sette segmenti.

Contatore base per rappresentazioni su display

Il circuito

Il circuito è montato intorno al circuito integrato contatore 4029; ha quattro uscite QA-QD, in cui per mezzo dei diodi LED da LD5 a LD8 viene visualizzato il codice binario BCD. Il diodo LED all'uscita CO (riporto dell'uscita) indica quando termina il conteggio, quando cioè superiamo il 9. Il contatore può contare sia in modalità ascendente che in modalità discendente; per quest'ultima dispone del pulsante P4, il quale, aperto farà sì che il conteggio avvenga in modalità ascendente, chiuso in modalità discendente. Per variare la velocità del conteggio, per variare cioè la velocità dell'oscillatore astabile, utilizzeremo il potenziometro del pannello. In questo modo seguiremo più facilmente il conteggio.

Funzionamento

Il contatore ha un clock con un periodo regolabile con il potenziometro da 50 K; è un clock molto lento proprio per poter seguire agevolmente il conteggio. Se il terminale 10 del contatore è a livello alto, come succede quando non viene premuto P4, il contatore conta in modalità ascendente da 0 a 9; arrivato a 9, ricomincia il conteggio da 0. Se poniamo il terminale 10 a livello basso, cosa che si verifica con P4 premuto, il conteggio avverrà in modalità discendente da 9 a 0 e una volta arrivato a 0 ricomincerà da 9.

Uscita di trasporto

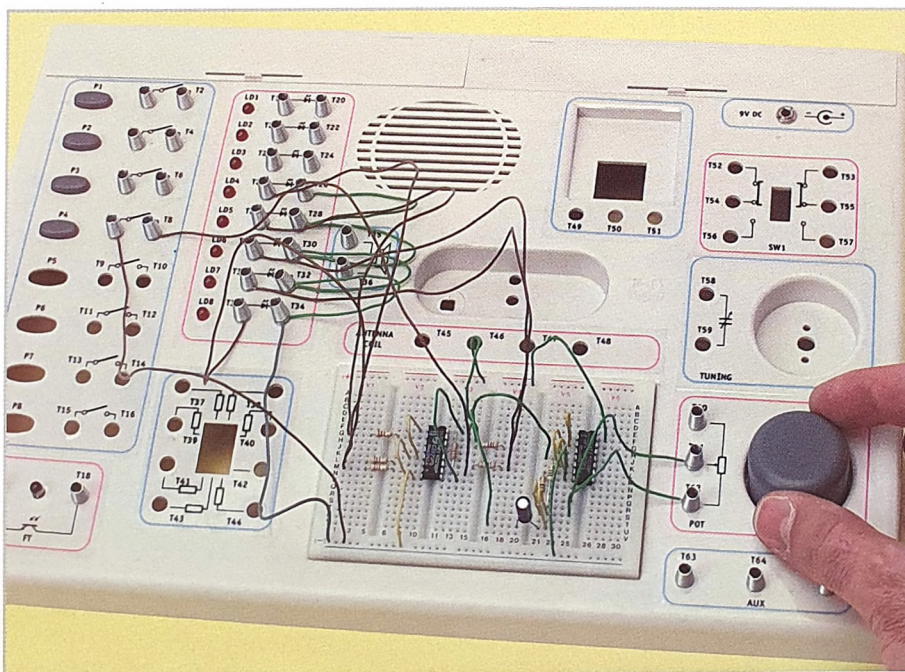
Questa uscita corrisponde al terminale 7 del contatore e si attiva a basso livello; normalmente starà a livello alto e il diodo si illuminerà. Se il contatore è in modalità ascendente, quando si introduce l'impulso che cambierà da 9 a 0 il diodo si spegnerà, indicando che il conteggio è terminato. Se, invece, il conteggio viene effettuato in modalità discendente, il

Contatore BCD ascendente/discendente

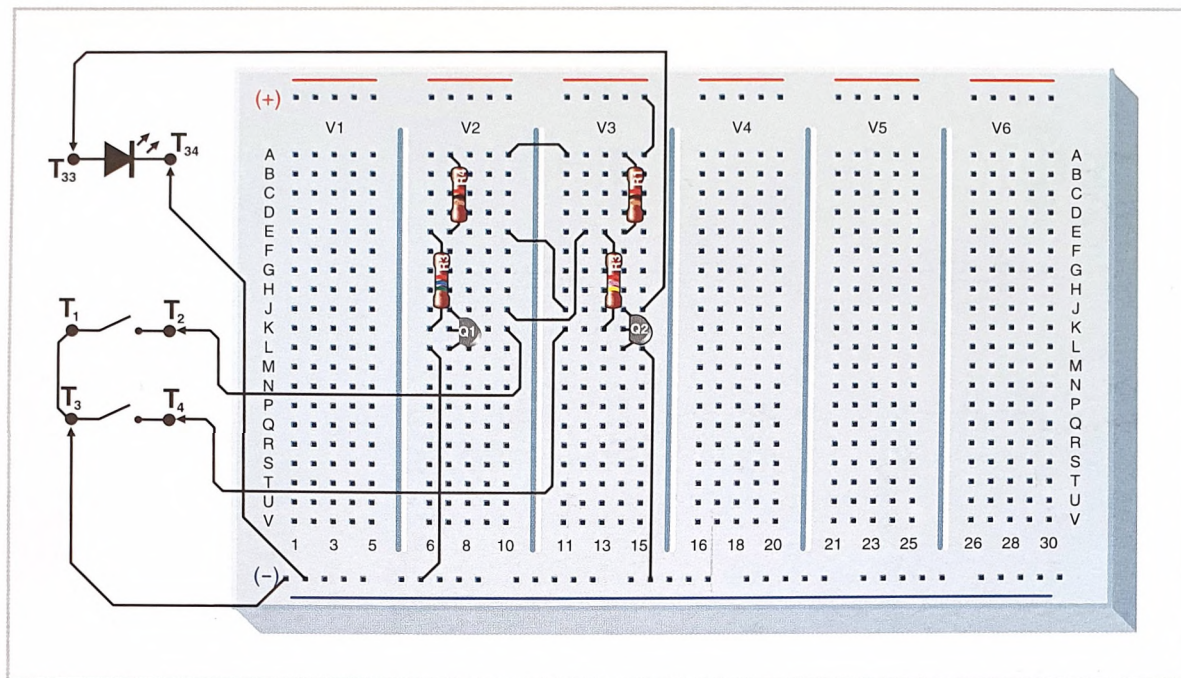
COMPONENTI	
R1	1 M
R2 a R5	1 K
R6	22 K
R7	100 K
R8	1K8
C1	10 µF
U1	4011
U2	4029
POT	
LD4 a LD8	
P4	

LED si spegnerà quando avverrà il passaggio da 0 a 9. Tutto questo, in realtà, significa che, quando colleghiamo in serie diversi contatori, dopo il 9 viene il 10 e per aggiungere un 1 dopo la decina si utilizza l'impulso di resto sul contatore delle decine. La medesima cosa avviene quando si conta passando dal 10 al 9, per togliere un 1 dalla decina.

Esperimenti

Se vogliamo che all'uscita del trasporto il diodo sia sempre spento e che si accenda solo quando avviene l'attivazione, collegheremo R8 a T26 e T25 a V3. Un altro esperimento che potremmo fare è quello di cambiare il tempo tra un numero del conteggio e l'altro. A tale scopo possiamo cambiare la resistenza R7 oppure il condensatore C1. Se vogliamo che conti più in fretta, basterà abbassare i valori di uno qualsiasi dei due componenti o di tutti e due, mentre se vogliamo che lo faccia più lentamente aumenteremo i valori dei componenti.

Tenendo premuto P4, il contatore conta in modalità ascendente.

Flip-flop RS con transistor

Questo circuito può memorizzare un cambiamento di livello.

Il circuito ha due entrate, una chiamata SET, pulsante P2, che attiva il LED, mantenendosi in questo stato fino a quando non si attiva l'entrata RESET, pulsante P1, che spegne il diodo LED. In realtà il circuito potrebbe avere due uscite situate nei collettori dei due transistor Q1 e Q2. Le due uscite sono invertite: l'una ha sempre uno stato opposto a quello dell'altra. Normalmente a noi interessa fare qualcosa su un qualcosa, non utilizzando per il momento il segnale invertito, non essendo il caso in cui si potrebbe usare per attivare ad esempio un temporizzatore. Quello che il circuito fa, in pratica, mantenendo lo stato anche dopo aver rilasciato il pulsante, è memorizzare una variazione.

Il circuito

Montato il circuito, che è, in effetti, una semplice cellula di memoria, ne potremo vedere il funzionamento. Nello stato iniziale, quando si collega l'alimentazione, si produce uno stato in cui l'uscita potrebbe essere '1' o '0', per cui il LED potrebbe illuminarsi oppure no. Il LED si illumina quando all'entrata SET si introduce uno '0' e a tale fine pigeremo P2 – è per questo che la suddetta entrata viene chiamata SET – perché pone a '1' l'uscita. Se considerassimo all'entrata RESET, succederebbe esattamente il contrario; attivandola la poniamo a '0' (premendo P1) e il LED si spegnerebbe – da qui il suo nome "RESET" – perché cancella l'uscita attiva.

È un circuito di memoria con transistor

Funzionamento

Il funzionamento del circuito si basa sul far lavorare i transistor in stato di interdizione oppure in saturazione. Supponiamo che il LED si illumini quando colleghiamo l'alimentazione. In questo stato, il transistor Q2 è interdetto, mentre il Q1 è saturato. Il fatto per cui Q1 è saturo fa sì che la base di Q2 non venga polarizzata mediante la resistenza R2, di modo che questa rimanga permanentemente interdetta. Se adesso pigiamo P1 (RESET), mettiamo a massa la base di Q1, per cui quest'ultima si pone in stato di interdizione con tutta la tensione dell'alimentazione nel suo collettore e polarizzando attraverso R2 il transistor Q2, saturandolo e spegnendo automaticamente il diodo LED. Se rilasciamo il pulsante, il LED rimarrà in questo stato.

Flip-flop RS con transistor

COMPONENTI	
R1, R4	1 K
R2	4K7
R3	5K6
Q1, Q2	BC548
P1, P2	
LD8	

Per questo motivo, se rilasciamo il pulsante, il LED rimarrà comunque in questo stato, dato che R2 non può polarizzare Q2.

Se ora premiamo P2 (SET), mettiamo in stato di interdizione Q2, perché ponendo la sua base a massa, il diodo LED si spegnerebbe. Avendo tutta la tensione dell'alimentazione nel collettore, polarizziamo Q1 saturandolo.

Esperimento 1

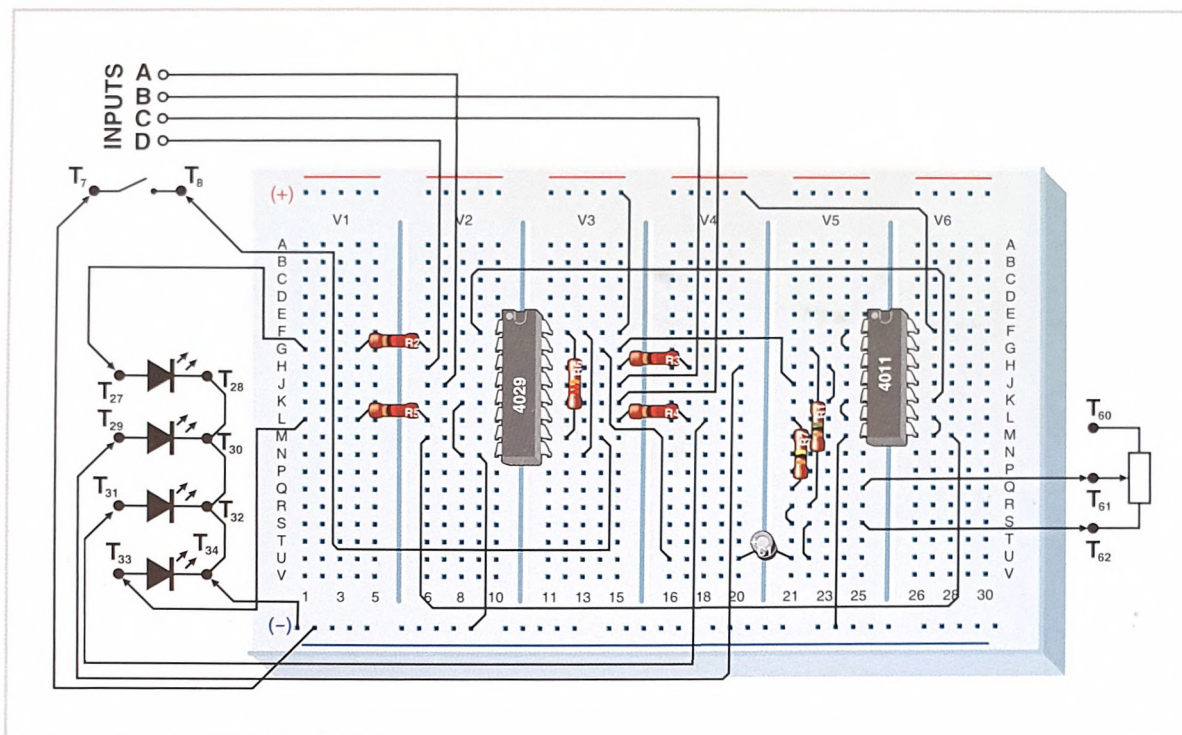
Possiamo collocare un altro diodo LED tra il collettore di Q1 e il terminale negativo dell'alimentazione, per verificare che le due uscite del circuito sono sempre invertite. Per questo fine, basterà collegare il suo anodo, T31, al collettore del transistor Q1, e il catodo, T32, al terminale negativo (-). In questo caso, quando un LED è acceso, l'altro sarà spento.

Grazie ai pulsanti possiamo attivare e disattivare il circuito.

Esperimento 2

Modificando le resistenze R1 e R4 del collettore, possiamo variare la luminosità dei diodi LED. Se la volessimo aumentare, ne abbasseremmo un po' il valore, mentre se volessimo diminuirla, lo aumenteremmo. Le variazioni di valore non possono essere grandi, dato che il circuito può lavorare solamente in stato di interdizione o di saturazione.

Contatore binario con caricamento precedente

Il contatore inizia il conteggio dal numero prefissato.

Il circuito conta nel sistema binario puro sia in modalità ascendente che discendente. Inoltre, è possibile prefissare il numero dal quale deve partire il conteggio. L'avanzamento del contatore si ottiene applicando un oscillatore astabile di bassissima frequenza all'entrata, così da poter facilmente seguire il conteggio.

Il circuito

Si utilizza il circuito integrato contatore 4029; esso ha quattro uscite QA-QD alle quali per mezzo dei LED da LD5 a LD8 viene visualizzato il codice binario puro. In questo caso l'uscita CO invertita (resto in uscita) ha il compito di realizzare il caricamento del primo numero del conteggio quando il contatore arriva alla sua fine, quando cioè in modalità ascendente superiamo il 15 (1111) e in modalità discendente arriviamo a 0 (0000). Il primo numero da cui parte il conteggio viene selezionato mettendolo alle entrate ABCD. Il contatore può seguire sia la modalità ascendente che quella discendente: a tal fine disponiamo del pulsante P4. Con P4 aperto conteremo in modalità ascendente, mentre con P4 chiuso lo faremo in modalità discendente.

Per cambiare la velocità del conteggio useremo un oscillatore astabile di cui potremo regolare il periodo del segnale mediante il potenziometro del pannello che è di 50K.

Lo zero iniziale può essere sostituito da un altro numero

Autocaricamento

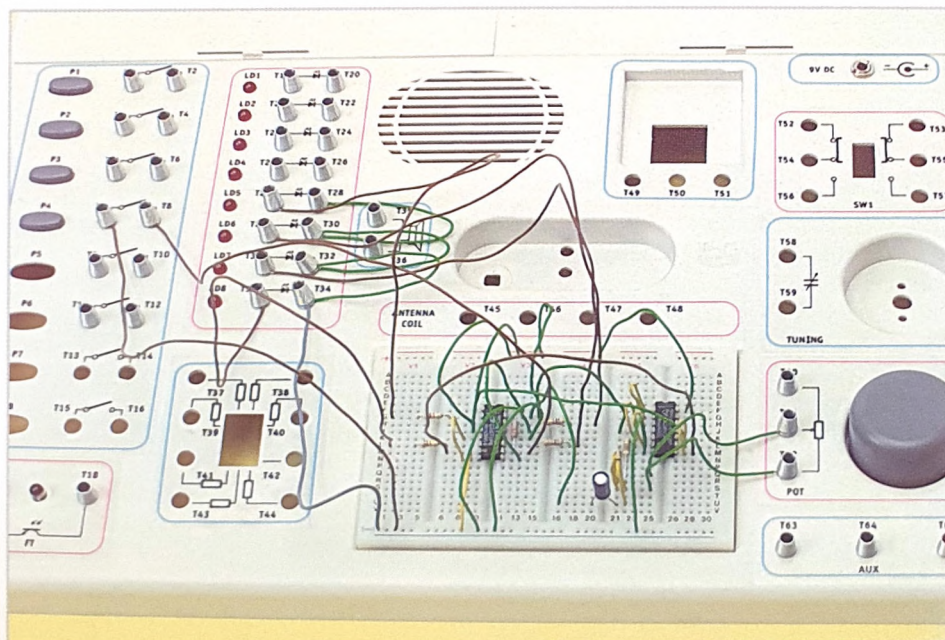
Perché il circuito possa realizzare un caricamento abbiamo utilizzato i terminali ABCD, che sono le entrate che metteremo a "1" o a "0" per configurare il numero binario che abbiamo intenzione di caricare. Affinché il numero collocato a queste entrate appaia alle uscite, dobbiamo porre a livello alto il terminale 1 (PE).

Funzionamento

Il contatore è governato da un clock il cui periodo possa variare tra circa 4,8 secondi – se il potenziometro da 50K è a "0" – e circa 6 secondi – se il potenziometro si trova al suo massimo livello. Questo tempo

Contatore binario con caricamento precedente

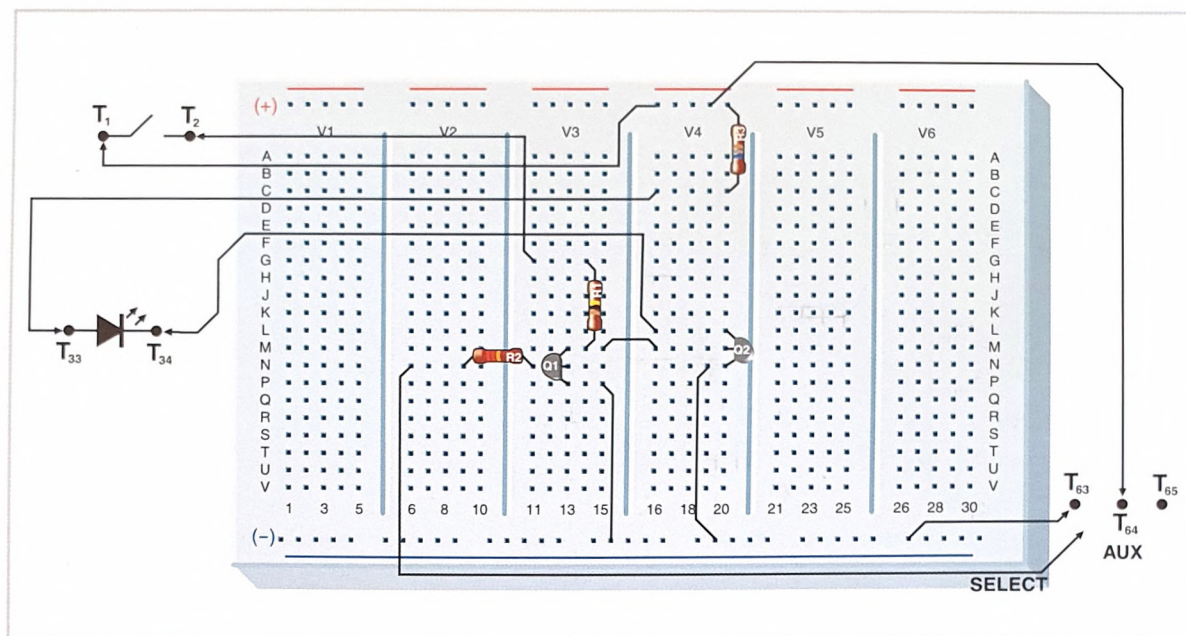
COMPONENTI	
R1	1 M
R2 a R5	1 K
R6	22 K
R7	220 K
C1	10 mF
U1	4011
U2	4029
POT	
LD5 a LD8	

segnerà il suo intervallo tra una uscita e la successiva. Se collochiamo un livello alto al terminale 10 del contatore, cosa che succede se non pigiamo P4, il contatore può contare in modalità ascendente a partire dal numero posto alle entrate ABCD fino al 15; arrivato a questo valore, l'uscita passa a zero e quindi, una volta invertita, sarà un livello alto a caricare il numero iniziale del conteggio. Se poniamo a livello basso il terminale 10, cosa che succederebbe se pigiassimo il pulsante P4, il conteggio verrà effettuato in modalità discendente dal numero prefissato fino allo zero; arrivato a questo valore, ricomincia dal numero caricato e, se il conteggio è discendente, quando arriva a zero il contatore attiva la sua uscita CO.

Ponendo a "1" o a "0" le entrate ABCD, viene fissato il numero da caricare.

Esperimenti

Approfittando dell'opzione che l'integrato ci offre, realizzeremo un contatore che conti, per esempio, tra i numeri 3 (D=0 C=0 B=1 A=1) e 15. A tal fine dobbiamo collocare il numero alle entrate ABCD, collegando a V3 per ottenere un "1" e a (-) se volessimo avere uno "0".

Porta AND con transistor

Porta AND a due entrate con tecnologia RTL.

Esistono porte logiche integrate in contenitore di ogni tipo, ma a volte può succedere che le caratteristiche da esse offerteci non siano sufficienti a soddisfare le nostre necessità. Perciò, realizzeremo una porta AND a due entrate con resistenze e transistor.

La porta AND

La funzione logica AND, tradotta come "Y" – si chiama Y perché un'entrata deve essere "1" perché l'uscita sia un "1". Questa porta logica realizza il prodotto logico S = E1*E2, cioè una moltiplicazione logica tra due numeri logici che ci sono alle entrate E1 ed E2. L'operazione è abbastanza diversa dalla medesima effettuata con dei numeri decimali, ma nella sostanza non cambia. Lo possiamo verificare moltiplicando i valori di E1 ed E2 di modo che se uno è "0", l'uscita è "0".

Il circuito

Il circuito è costituito da due transistor collegati a cascata e che funzionano sia in interdizione che in saturazione. Le entrate E1 ed E2 in questo caso sono le basi dei due transistor; anzi, più in dettaglio sono le estremità delle resistenze R1 e R2 che sono rispettivamente collegate al pulsante P1 e al terminale T64 o T63. Quando non si preme P1, il transistor Q2 rimane non polarizzato e, se si collega a T63, Q1 si satura e non permette a Q2 di condurre: la posizione in cui si trova P1 è indifferente. In qualsiasi di questi casi, essendo Q2 interdetto, il LED LD8, che si trova nel collettore di Q2 e che indicherà l'uscita della porta logica, rimarrà spento. Se adesso premiamo P1, il transistor Q2 passerà allo stato di saturazione, sempre che la resistenza R2 sia libera o collegata a T64, per cui Q1 continuerà a rimanere interdetto (non condurrà) e il LED si illuminerà. Se schiacciamo P1 e colleghiamo R2 a T63, conduce Q1 ed evita che Q2 conduca e il LED non si illumina.

Consente un maggior margine di tensioni e di correnti d'entrata e di uscita

Funzionamento

Anche se il funzionamento debba essere abbastanza chiaro grazie alla spiegazione del circuito, lo ripasseremo comunque rapidamente. Il pulsante P1 a riposo è un'entrata "0", mentre se schiacciato è un'entrata "1". R2 collegata a T64, o libera, è un "1", mentre se collegata a T63 è uno "0". Perché il LED si possa illuminare le due entrate devono essere a "1".

Porta AND con transistor

COMPONENTI	
R1	100 K
R2	22 K
R3	680
Q1	BC558
Q2	BC548

Tavola Porta AND

R2	P1	LED
0	0	OFF
0	1	OFF
1	0	OFF
0	0	ON

Avviamento

Se colleghiamo il circuito all'alimentazione, la prima cosa da fare è verificare la tabella di una porta AND. Se, per qualche motivo, non lo si potesse fare, la prima cosa da fare sarebbe scollegare l'alimentazione. In seguito si passerà a verificare la polarità del LED e quella dei transistor Q1 e Q2, tenendo conto del fatto che appartengono a due tipologie differenti. Se sono quelli adeguati e sono stati ben inseriti, è possibile che qualcuno dei transistor risulti rovinato, per cui, per assicurarci, ne cambieremo uno e se non funziona ancora cambieremo l'altro.

Il diodo LED indica lo stato dell'uscita della porta.

Porta OR-exclusive XOR

Si riesce ad ottenere la funzione XOR a partire da una combinazione di porte NAND.

Molte volte potremmo aver bisogno di una porta di un tipo mentre siamo in possesso solamente di porte di un altro tipo, tuttavia in alcuni casi possiamo evitare di comperare un nuovo tipo di integrato e di dover rimandare il nostro progetto ad un altro giorno: c'è una soluzione veloce a cui possiamo ricorrere. Vediamo come possiamo fare una porta la cui uscita sia un "1" quando le sue due entrate sono differenti, quando cioè una sia un "1" e l'altra sia uno "0".

Porta OR-esclusive XOR

La funzione così denominata è quella la cui uscita è un "1" quando solamente una delle due entrate è un "1" e uno "0" quando entrambe le entrate hanno il medesimo valore. A questa funzione viene dato il nome di comparazione, perché è precisamente questa la funzione utile.

La funzione da essa rappresentata viene data da S = (P1 + P2)•(/P1 + /P2). Per ridurre questa espressione si usa il segno "più" (+) all'interno di due parentesi che contengono le due variabili d'entrata.

L'uscita è "1" se le entrate sono diverse

Il circuito

In situazione di riposo e con l'alimentazione collegata abbiamo i pulsanti aperti e ciò provocherà che alle entrate della porta U1A abbiamo uno "0", che verrà stabilito mediante le resistenze R1 e R2. Le porte U1D e U1B avranno anch'esse una delle entrate a "0" e l'altra collegata all'uscita di U1A che sarà un "1", per cui l'uscita di queste due porte sarà un "1", che, introdotto in U1C darà l'uscita "0"; il transistor, quindi, non si polarizzerà e il LED del suo collettore, che ce ne indica l'uscita, non si illuminerà. Se, ora, premiamo uno dei due pulsanti, per esempio P1, U1A seguirà dandoci un'uscita "1", mentre U1B ci darà un'uscita "0", perché ha le due entrate a "1". Tutto ciò farà sì che la porta U1C abbia un'entrata a "1"e l'altra a "0", per cui l'uscita è un "1", il transistor si polarizza e il LED si illumina. Se, invece di P1, pigiassimo solamente P2, la situazione sarebbe esattamente la medesima, ma invece della porta U1B, avremmo la porta U1D. Nel caso in cui premessimo simultaneamente P1 e P2, la porta U1A ci darà la sua uscita a "0", mentre U1B e U1D avranno l'uscita a "1" e, quindi, la porta U1C all'uscita avrà uno "0".

Porta OR-exclusive XOR

COMPONENTI	
R1, R2, R3	10 K
R4	470 Ω
Q1	BC548
U1	4011
P1, P2	
LD8	

Tavola Porta AND

P1	P2	LED
0	0	OFF
0	1	ON
1	0	ON
1	1	OFF

Avviamento

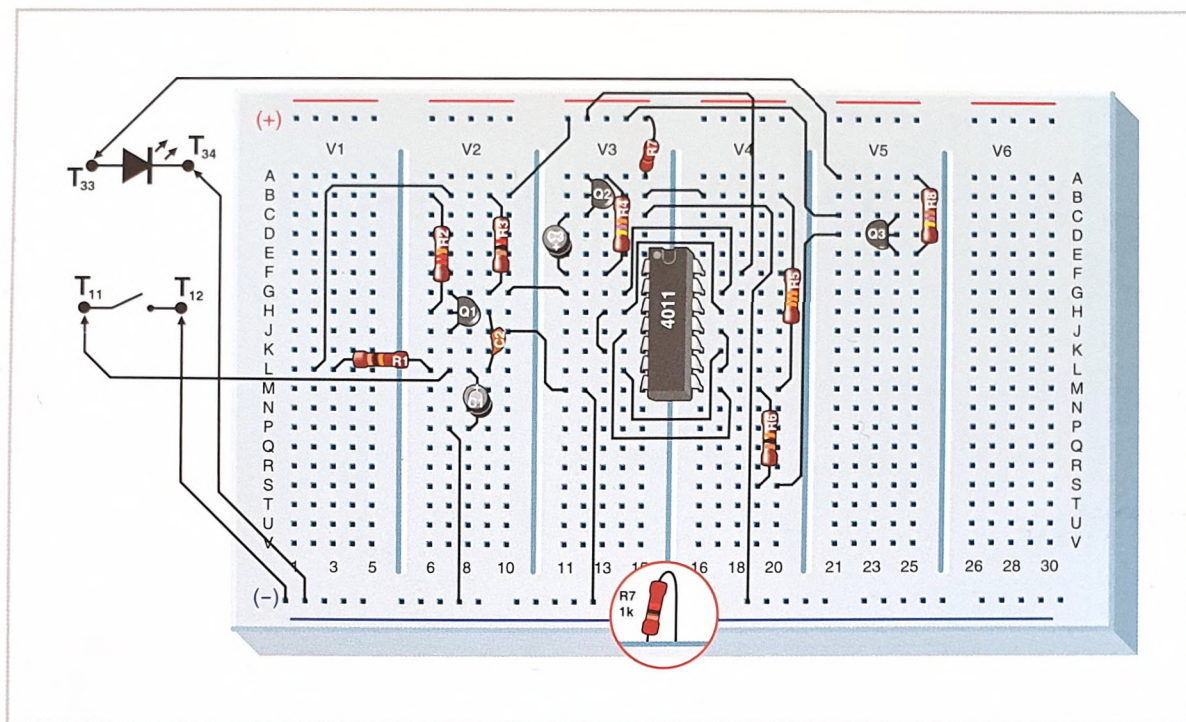
Il funzionamento del circuito è semplicissimo; dovrebbe funzionare al semplice allacciamento dell'alimentazione. Premendo i pulsanti nell'ordine indicato sulla tavola della verità della porta, devono potersi verificare tutti gli stati; nel caso non dovesse funzionare adeguatamente, dovremmo verificare che l'alimentazione dell'integrato sia collegata ai terminali giusti (V3 collegato al terminale 14 e (-) collegato al terminale 7 dell'integrato 4011). Se non si sono verificati degli errori, verificheremo la collocazione del transistor Q1 e del diodo LED.

Porta XOR ottenuta dalla combinazione delle porte NAND.

Esperimenti

Come abbiamo già accennato, la cosa interessante di questo circuito è che ha la capacità di rilevare se le due entrate sono diverse; a tal fine, se vogliamo vedere le entrate, possiamo collocare un LED in serie con una resistenza da 1K in ciascuno dei pulsanti (in parallelo con R1 e R2) e con il catodo sempre collegato al negativo dell'alimentazione (-). Possiamo anche cambiare l'illuminazione del LED collocato nel collettore del transistor variando la resistenza R4. Se abbassiamo il valore di quest'ultima, la luminosità aumenterà, mentre se lo aumentiamo, diminuirà la corrente del collettore e, quindi, la luce del LED.

Flip-flop a singolo impulso

Il circuito cambia stato a ogni impulso ricevuto dal pulsante P6.

Il montaggio ci consentirà di realizzare all'uscita un cambiamento di stato premendo soltanto un pulsante: possiamo quindi spegnere il fotodiodo con la sola pressione di un bottone e farlo accendere allo stesso modo. Ad ogni pressione esercitata su P6, provochiamo un cambiamento dello stato dell'uscita.

Funzionamento

Il principio grazie al quale il circuito funziona sta nel fatto per cui ogni volta che premiamo, viene rilevata solamente una pressione; se rilevasse qualcosa in più, il circuito cambierebbe la propria uscita e non ne conosceremmo lo stato effettivo.

Per questo motivo, quindi, è stato previsto un circuito che elimini i possibili rimbalzi eventualmente provocati dalla pressione di P6. In questo modo, all'uscita apparirà un solo impulso per pressione. L'impulso verrà introdotto in un flip-flop RS per mezzo di una porta: così, ad ogni impulso il valore dell'uscita del terminale 4 di U1 cambierà.

L'uscita viene direttamente collegata alla base di un transistor che attiverà o disattiverà il LED posto nel suo collettore.

Non serve il clock d'entrata

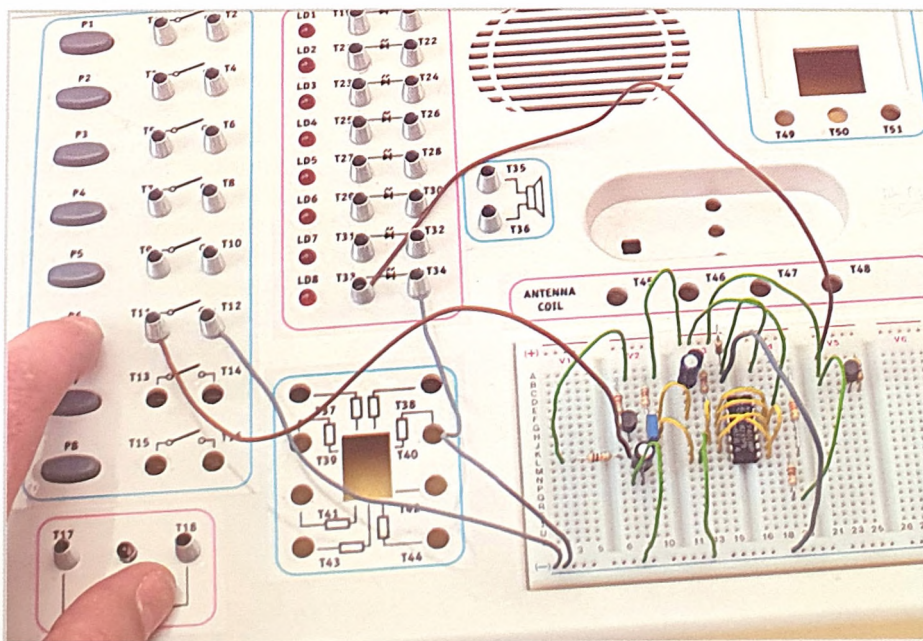
Il circuito

Definiamo rimbalzi le chiusure e le aperture che si producono tra i contatti di un pulsante quando quest'ultimo viene aperto o viene chiuso. Prima che si chiudano i contatti, si verificano molte chiusure e aperture che, come nel caso appena considerato, causerebbero moltissimi cambiamenti indesiderati all'uscita del circuito. Al fine di risolvere questo problema, è stato disposto un eliminatore di rimbalzi basato su un ritardo, che è il tempo nel quale si stabilizza la pressione esercitata su un tasto. Se osserviamo lo schema, vediamo che, quando il circuito è in stato di riposo, Q1 è interdetto e, quindi, il collettore avrà un livello basso. Se premiamo P6 , C1 va in cortocircuito, la base si collega al negativo per un istante durante il quale il transistor viene interdetto e il suo collettore passa ad un livello alto. Questo cambiamento di livello da basso ad alto è quello che attiva il flip-flop RS formato dalle porte U1B e U1C. Le porte U1A e U1D servono, insieme con il transistor Q2, con R4 e con C3, a far sì che lo stato attuale non abbia a ripetersi e che si verifichi il vero cambiamento nello stato dell'uscita.

Flip-flop a singolo impulso

COMPONENTI	
R1, R6	10 K
R2	22 K
R3, R7	1 K
R4	47 K
R5	33 K
R8	470 Ω
C1	2,2 µF
C2	100 nF
C3	1 µF
Q1, Q2	BC548
Q3	BC558
U1	4011
LD8	
P6	

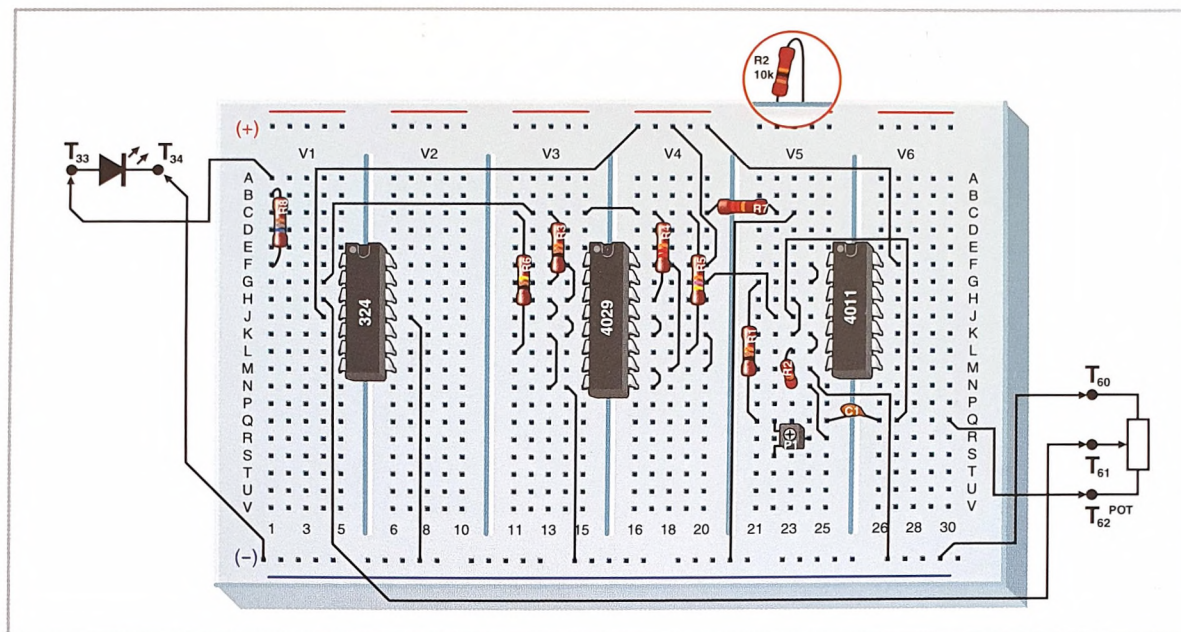
Avviamento

Con l'alimentazione collegata al circuito, quest'ultimo dovrebbe poter funzionare premendo semplicemente P6. Logicamente, trattandosi di un elemento meccanico, dovremo stringerlo bene, senza romperlo; è anche possibile che ci vedremo costretti a stringerlo varie volte per riuscire ad ottenere un buon contatto. Se, malgrado i nostri tentativi, il circuito continua a non funzionare, dovremo verificare la polarità dei transistor, facendo particolare attenzione, al momento di effettuare il contatto, a distinguere gli NPN dai PNP.

Il circuito memorizza lo stato precedente e lo cambia ad ogni pulsazione.

Esperimento

Il circuito è calcolato per espletare alla perfezione la funzione per la quale è stato progettato, ma possiamo cambiare il valore dei condensatori C1 e C2 così da poter verificare l'effetto dei rimbalzi sul circuito. Se vogliamo cambiare il livello di luminosità del LED, dobbiamo ridurre il valore di R6.

Modulatore del numero di impulsi

Converte la tensione generando un numero di impulsi.

Questo circuito è importantissimo nell'elettronica digitale perché ci permette di rappresentare graficamente la grandezza misurata da un sensore. Se, per esempio, usiamo un sensore della temperatura, alla sua uscita avremo una tensione che sarà proporzionale alla temperatura esistente; bene, se vogliamo vedere su un display questa temperatura, dobbiamo convertire la tensione continua in una grandezza misurabile digitalmente. La conversione in impulsi, cosicché un contatore li possa contare, rappresenta una buona soluzione, ma effettuando questo esperimento, vedremo solamente come ottenere degli impulsi e non come contarli.

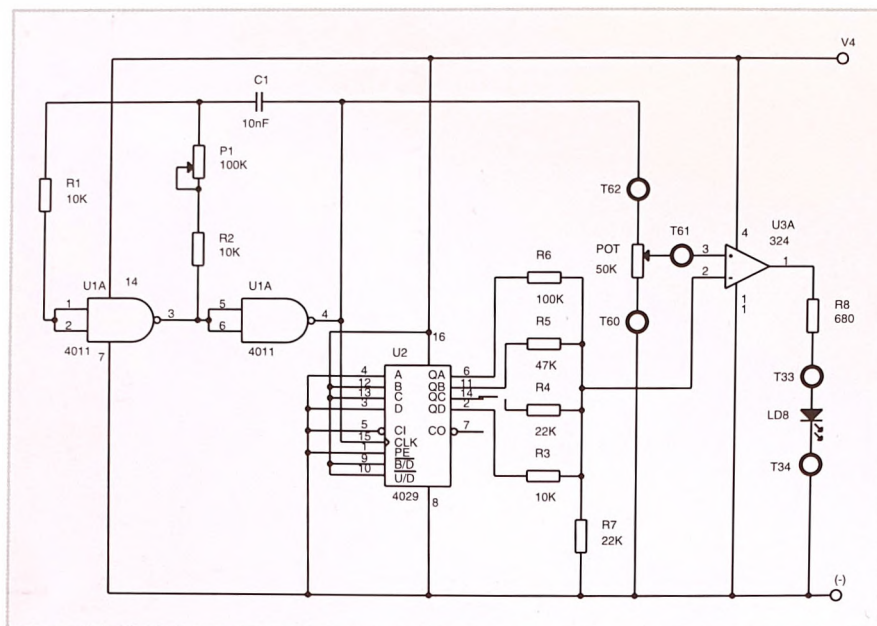
Funzionamento

Avremo, all'uscita di questo circuito, un determinato numero di impulsi che cambierà in funzione della tensione che cercheremo di stabilizzare mediante il potenziometro POT. Questa tensione sarà quella sostituita da quella erogataci dal sensore. Nel circuito, abbiamo un circuito oscillatore che genera gli impulsi per il contatore; grazie ad essi, stabilizzeremo anche il livello della tensione, che determinerà il numero degli impulsi dell'uscita. Il contatore ha alla propria uscita diverse resistenze che generano una rampa di tensione costituita da piccoli gradini; ciascuno di questi gradini, all'uscita del contatore, corrisponde ad un numero. Nell'amplificatore operazionale apparirà la tensione della rampa, tensione che renderemo fissa avvalendoci del potenziometro, di modo che l'uscita avrà degli impulsi, mentre la tensione della rampa non supererà quella stabilita dal potenziometro.

Il circuito

Analizziamo il circuito pezzo per pezzo. Abbiamo, innanzitutto, un circuito oscillatore, montato con porte NAND, una delle cui funzioni è quella di servire da clock per il contatore. Quest'ultimo, con le quattro resistenze dell'uscita e la resistenza R7, forma un generatore della rampa a piccoli gradini. Ogni uscita ha una resistenza che aumenta (QD>QA) mano a mano che l'uscita possiede un maggior peso; tutte le resistenze risultano connesse alla resistenza R7. Il contatore è configurato per contare in modalità ascendente e in sistema binario puro; i terminali 9 e 10 sono uniti all'alimentazione. Progredendo il conteggio, i bits alla sua uscita cambiano e ad ogni cambio appare una tensione

Ad una maggior tensione corrisponde un aumento del numero degli impulsi

Modulatore del numero di impulsi

COMPONENTI	
R1, R2, R3	10 K
R6	100 K
R4, R7	22 K
R5	47 K
R8	680
P1	100 K
C1	10 nF
U1	4011
U2	4029
U3	324
POT	
LD8	

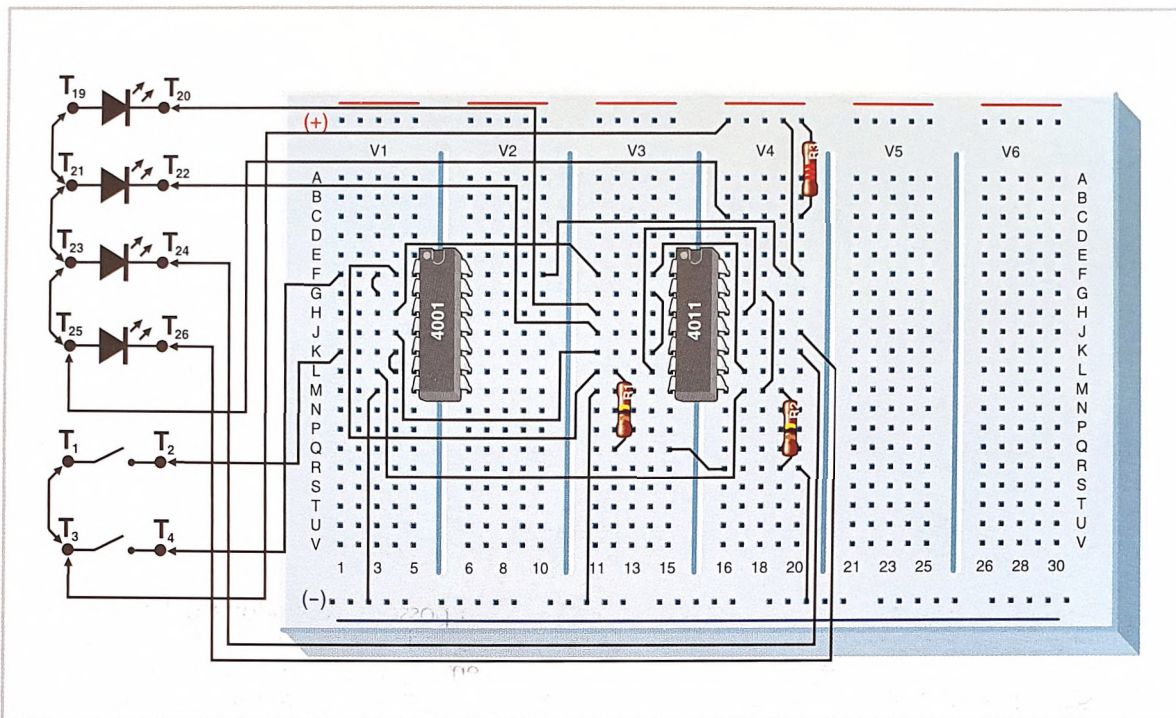
ogni volta maggiore; appare, cioè, un gradino di tensione maggiore rispetto a quello del precedente conteggio e, così, viene a formarsi una rampa costituita da piccoli scalini che corrispondono al conteggio del contatore da 0000 a 1111 e che applicheremo direttamente all'entrata 2 dell'operazionale. L'uscita dell'oscillatore va anch'essa al potenziometro permettendoci, così, di cambiare il livello della tensione continua del terminale dell'entrata 3 dell'operazionale. In questo modo, mentre la tensione della rampa non supera quella prefissata grazie al potenziometro, all'uscita avremo una serie di impulsi. Aumentando la tensione del potenziometro, la rampa tarderà a raggiungere la suddetta tensione e, quindi, si avranno più impulsi all'uscita. Abbassando il livello della tensione, invece, succederà esattamente l'opposto. Per osservare questo fenomeno, faremo come segue: collocheremo un diodo LED in maniera tale che la sua luminosità cambi in modo direttamente proporzionale al numero degli impulsi dell'uscita: quanti più impulsi riceverà, tanto più si illuminerà.

Il potenziometro stabilisce il numero degli impulsi all'uscita.

Esperimenti

Volendo, possiamo cambiare la frequenza dell'oscillatore di modo che la rampa sia maggiormente inclinata se la frequenza è maggiore – gli impulsi del clock sono più stretti – o meno inclinata se la frequenza è minore – gli impulsi del clock sono più larghi –. Tutto ciò si traduce in una variazione della luminosità del LED.

Decodificatore da 2 a 4 linee

Si attiva l'uscita selezionata con un codice binario d'entrata.

Il circuito ci consente, mediante due entrate digitali, di controllare all'uscita 4 diodi LED, di modo che il diodo LED che corrisponde al codice binario che si formerà all'entrata grazie ai pulsanti P1 e P2 si illuminerà. Il dispositivo che realizza questa funzione si chiama decodificatore da 2 a 4 linee.

che corrisponde all'uscita 0, si illuminerà. Se pigiamo P2, avremo all'entrata (01), per cui selezioneremo l'uscita 1 e il LD2 si illuminerà. Se pigiamo soltanto P1, avremo (10) e selezioneremo l'uscita 3, LD3 illuminato e, infine, se schiacciamo insieme i due pulsanti, attiveremo il LED corrispondente all'uscita 3, LD4

Funzionamento

Il funzionamento del circuito è semplicissimo. Si tratta di un circuito digitale venduto così com'è sul mercato e che qui realizziamo con porte logiche. Il numero di uscite che si possono selezionare dipende direttamente dal numero delle entrate; la relazione è la seguente: N° di uscite = 2n, dove 'n' è il numero delle entrate. Il circuito possiede due entrate i cui livelli saranno '1' o '0' in funzione dello stato dei pulsanti P1 e P2; abbiamo, quindi, 4 possibili codici differenti (00, 01, 10, 11) che ci consentiranno di controllare altre quattro uscite (0, 1, 2, 3, cioè LD1, LD2, LD3 e LD4). Con l'alimentazione collegata, se i due pulsanti sono aperti, le due entrate sono a '0', per cui il LD1,

Con due bits si controllano 4 uscite

Il circuito

Nel circuito ci sono tre distinte parti degne di essere menzionate, ma ne studieremo solamente una. Da un lato abbiamo l'entrata formata dai pulsanti, di modo che quando sono aperti, lo zero delle entrate si è determinato dalle resistenze R1 e R2 e quando si pigiano apparirà la tensione di alimentazione sulla resistenza in modo che si introdurrà un alto livello '1'. Dall'altro lato, abbiamo l'uscita formata dai quattro diodi LED. Le quattro uscite si attiveranno a livello basso, per cui verranno collegate al positivo e quando si attiva l'uscita corrispondente passerà a livello basso e il LED risulterà polarizzato mediante la resistenza R3. C'è solamente una resistenza di polarizzazione perché c'è

Decodificatore da 2 a 4 linee

COMPONENTI	
R1, R2	100 K
R3	2K2
U1	4011
U2	4001
P1, P2	
LD1 a LD4	

solamente una uscita attiva e, quindi, un LED acceso.

In quanto al circuito decodificatore, la sua struttura è facilmente analizzabile. La porta d'uscita si attiverà quando le due entrate saranno a '1' e, quindi, si deve fare in modo che l'uscita corrispondente abbia due '1' alle sue entrate per il codice binario che i pulsanti forniscono. Per esempio, perché si attivi la porta U2A corrispondente all'uscita '0', e che si deve attivare quando i due pulsanti sono a '00' (aperti), le invertiremo tutte e due e le collegheremo alla porta U2A. Se vogliamo che si attivi la porta U2B con '01', il bit dell' '1' corrispondente al pulsante P2 (chiuso) andrà direttamente al terminale 6 di U2B, mentre lo '0', corrispondente all'entrata di P1 (aperto) si inverte attraverso U1B e si collega al terminale 5 di U2B. Si fa la medesima cosa anche con le altre due uscite. Con i pulsanti di entrata a '11', selezioneremo l'uscita 3 e collegheremo direttamente le entrate ai terminali 12 e 13 della porta U2D.

L'uscita attiva corrisponderà al codice stabilito dai pulsanti.

Avviamento

Il circuito deve funzionare una volta che abbiamo collegato l'alimentazione tra V4 e (-). Per verificarlo, senza premere P1 e nemmeno P2, si deve illuminare il LED dell'uscita '0', cioè LD1. Se non dovesse illuminarsi, dovremo verificare l'alimentazione dei due circuiti integrati U1 e U2 e la posizione dei LED.

Flip-flop sensibile al tatto

Il flip-flop T cambia di stato a ogni impulso.

Un interruttore è un dispositivo meccanico, che apre o chiude dei contatti metallici, che col tempo tendono a deteriorarsi. In questo caso, si sostituisce la meccanica con l'elettronica e si riesce ad ottenere un interruttore senza contatti che possano rompersi e che inoltre si attiva grazie al tocco. L'uscita cambia da attiva a inattiva ogni volta che si preme sui terminali che agiscono da sensore.

Funzionamento

Perché il circuito possa essere sensibile al tatto sfruttiamo una doppia proprietà: da un lato l'umidità della nostra pelle ci servirà per unire due terminali e poter produrre un cambiamento di livello all'entrata del circuito e dall'altro l'elevata impedenza d'entrata delle porte CMOS. Questo cambiamento di livello viene sfruttato per accendere il monostabile a temporizzazione breve, di modo che possa attivare, o disattivare, il flip-flop. Il compito del monostabile è quello di assicurare una sola accensione al flip-flop ogni volta che si preme sui contatti del sensore T63-T64, elimina, cioè, possibili contatti velocissimi che si possono produrre ogni volta che si tocca con il dito. Se non ci fosse il monostabile, avremmo l'entrata del clock, CLK, del flip-flop, unita al punto in cui adesso sta il terminale 2 di U1A e ogni volta che premiamo il dito si produrranno molti impulsi velocissimi, per cui lo stato finale dei LED sarebbe indeterminato, non potendo controllare il numero totale di questi impulsi.

Toccandolo con un dito, un diodo LED si accende o si spegne

Il flip-flop JK ha le entrate unite al positivo per formarne una del tipo T, che ha la particolarità di cambiare lo stato della sua uscita ogni volta che si produce una salita nel segnale del clock, di modo che se l'uscita Q è attiva i LED saranno illuminati, se si produce un nuovo impulso del clock agendo sui terminali T63-T64, l'uscita Q passa a '0' e si spegneranno i diodi LED. Se premiamo nuovamente, si produrrà un altro impulso di clock e i LED si illumineranno nuovamente.

Il circuito

Nel circuito abbiamo due parti perfettamente differenziabili. Da un lato c'è il circuito che genera un

Flip-flop sensibile al tatto

COMPONENTI	
R1, R2	1 M
R3	100 K
R4, R5	1 K
C1	220 nF
C2	100 nF
U1	4011
U2	4027
LD7, LD8	
T63, T64	

unico impulso ogni volta che tocchiamo con il dito e dall'altro quello incaricato di agire sull'uscita cambiandone lo stato a ogni pulsazione. La resistenza R1 ha un valore grande per cui la corrente circolante nella pelle del nostro dito, quando con esso tocchiamo il circuito, è di alcuni microampere.

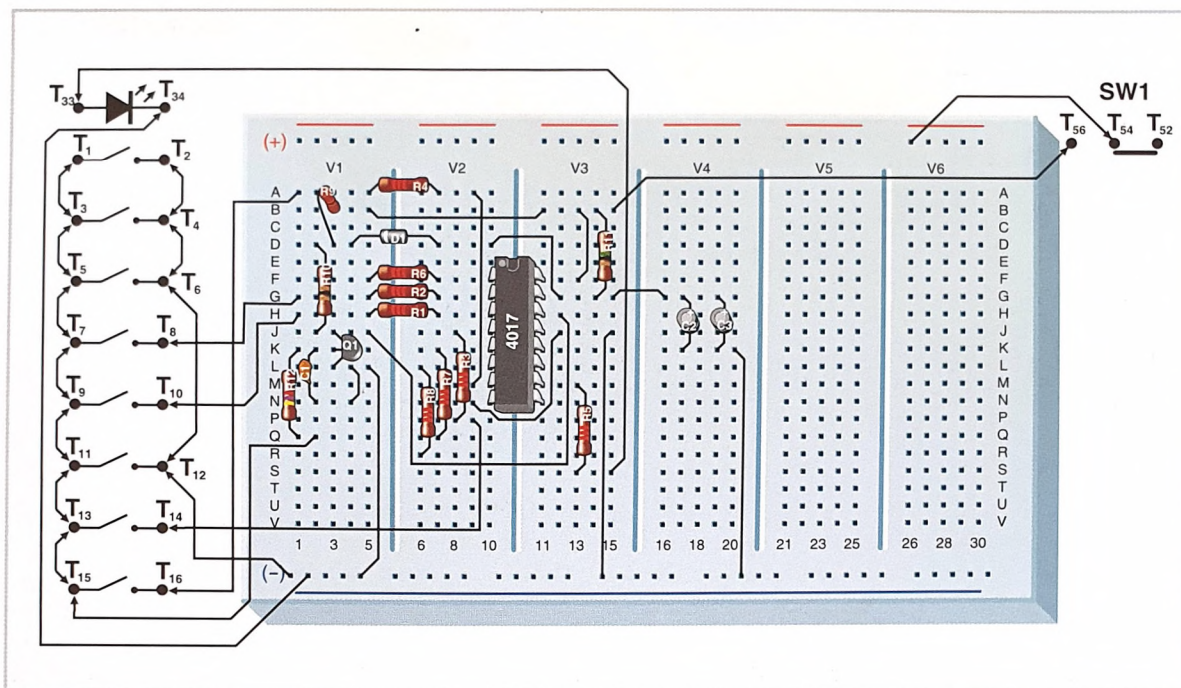
In stato di riposo abbiamo uno stato alto all'entrata del monostabile, terminale 2 di U1A, e all'uscita dello stesso, terminale 4 dell'U1B, avremo un livello basso. Il flip-flop avrà la sua uscita Q a livello basso, per cui i diodi LED dell'uscita sono spenti. La rete R3-C2 ha il compito di resettare il flip-flop, assicurando che quando colleghiamo l'alimentazione, l'uscita Q non sia attiva. Se tocchiamo con il dito nel punto tra T63 e T64, l'entrata del monostabile passa a livello basso, per cui questo si attiva e la sua uscita passa a livello alto. Questo cambiamento di livello farà sì che il flip-flop T cambi la sua uscita in attiva e che i LED si illuminino.

Lo stato dell'uscita muta a ogni tocco su T63-T64.

Esperimenti

È arrivato il momento di esaminare qualcuno degli effetti commentati in precedenza. Innanzitutto, possiamo eliminare il monostabile, collegando direttamente all'entrata CKL il terminale T63. Vedremo che, a volte, anche se lo tocchiamo con il dito, il LED non muta di stato; tuttavia, ciò dipende anche dal tasso di umidità della nostra pelle. Possiamo anche attivare il monostabile cortocircuitando con un filo i due terminali d'entrata. Se togliamo la rete R3-C2, e colleghiamo il terminale 4 di U2A al negativo dell'alimentazione, è possibile che, a volte, collegando l'alimentazione i diodi LED rimangano accesi.

Serratura codificata

Possiamo stabilire una chiave fino a otto cifre.

Questo circuito consente di stabilire una chiave; una volta applicata, attiverà per qualche secondo un diodo LED. Come tastiera per introdurre la chiave, vengono impiegati gli otto tasti del laboratorio, per cui, per stabilire la chiave, possiamo disporre solamente dei numeri che vanno da 0 a 7.

Funzionamento

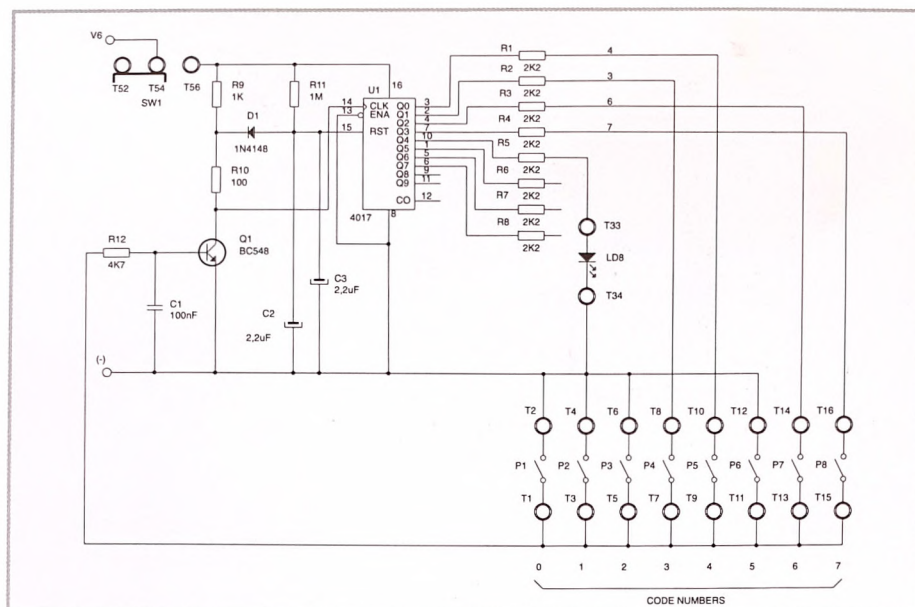
Per utilizzare lo schema nella spiegazione, come esempio è stata collegata una chiave. In stato di riposo, dopo aver collegato, attraverso il commutatore SW1, l'alimentazione al circuito, il 4017 avrà l'uscita Q0 a livello alto e, quindi, il resto, inclusa l'uscita del LED, sarà a livello basso. In questa situazione, abbiamo deciso di utilizzare come chiave 4367. Dobbiamo, quindi, collegare la prima cifra della chiave, quella corrispondente al numero 4 (T10 del pulsante P5) all'uscita Q0, la cifra successiva, il 3 (T8 del pulsante P4) deve essere collegata alla seguente uscita del 4017, la Q1, la cifra numero 6 (T14 del pulsante P7) all'uscita Q2 del 4017 e, infine, il 7 (T16 del pulsante P8) all'uscita Q3. Il diodo LED verrà sempre collegato all'uscita successiva all'ultima.

Con questa configurazione, e con Q0 attiva se premiamo il tasto (P5) collegato a questa uscita, generiamo un impulso nel collettore del transistor che farà sì che il 4017 attivi l'uscita successiva, Q1, di modo che possiamo premere il tasto associato a questa uscita (P7) e produrre un altro impulso che attivi Q3, cosicché quando premiamo l'ultimo tasto (P8), si avrà un altro impulso che illuminerà il LED.

Se avessimo più tasti, li collegheremmo sempre nello stesso ordine e metteremmo sempre il LED all'uscita successiva all'ultima.

Nel circuito, il montaggio realizzato intorno al transistor Q1 non solo genera un impulso, ma anche una temporizzazione che limita a 3 secondi il tempo disponibile da quando premiamo un tasto della chiave a quando premiamo il successivo. Se non facessimo così, si resetterebbe e introdurrebbe nuovamente la chiave. I 3 secondi sono anche il tempo in cui il LED rimane attivo, per cui se volessimo attivare un qualcosa in modo permanente, dovremmo collocare l'uscita del LED su un flip-flop, in maniera tale che l'attivazione rimanga immagazzinata. Possiamo anche introdurre numeri ripetuti.

Ogni pulsante è un numero

Serratura codificata

COMPONENTI	
R1-R8	2K2
R9	1 K
R10	100
R11	1 M
R12	4K7
C1	100 nF
C2, C3	2,2 µF
D1	1N4148
Q1	BC548
U1	4017
LD8	
SW1	
P1-P8	

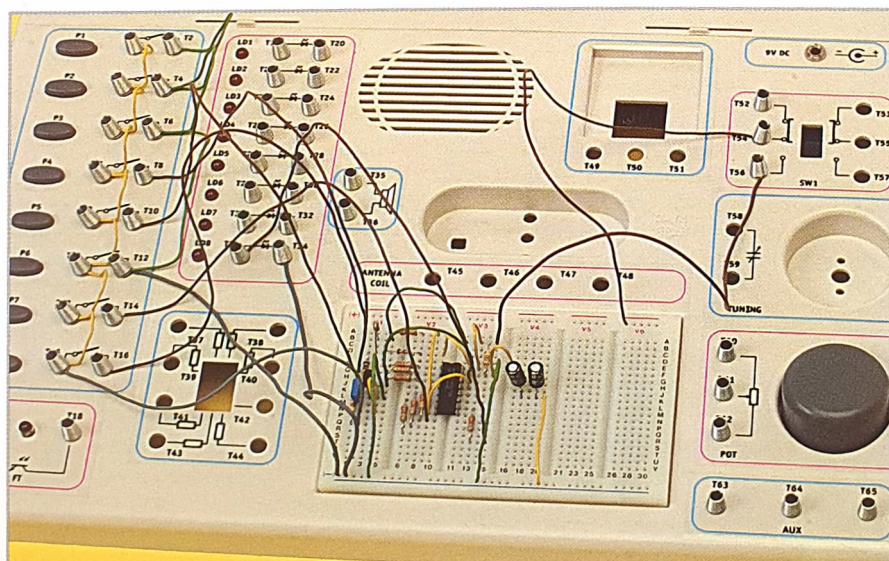
Inconvenienti

Il circuito presenta alcuni inconvenienti che, per ora, non risolveremo per non complicare troppo il circuito. Si tratta dell'introduzione di numeri chiave errati. Supponiamo con l'attuale configurazione, di introdurre la chiave 34673467. Se osserviamo, il primo 4, il secondo 3, il secondo 6 e il secondo 7 formerebbero la chiave, per cui il circuito si attiverebbe. Non abbiamo, quindi, nel circuito nessun elemento che rilevi i numeri errati della chiave. Sicuramente, è un esperimento molto istruttivo.

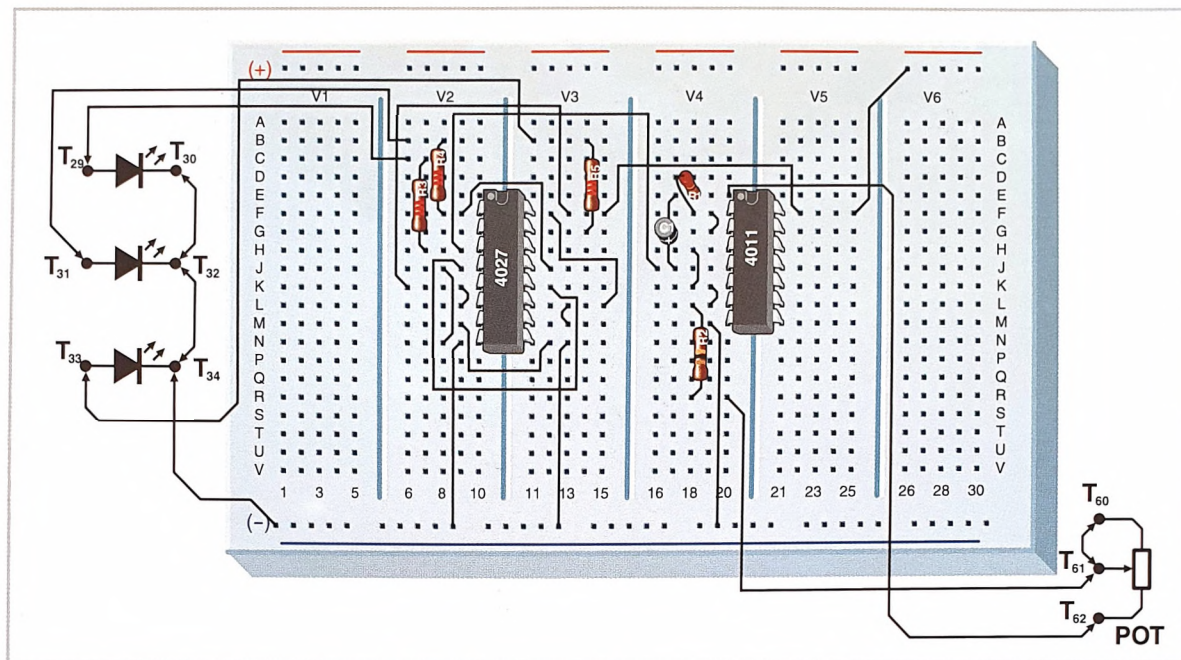
Controllo dell'intervallo tra le pulsazioni

I condensatori C2 e C3 sono incaricati di effettuare questo controllo, cosicché, se aumentiamo la capacità, collocando in parallelo degli altri condensatori, il tempo aumenterà, mentre se diminuiamo la capacità, anche il tempo diminuirà.

Altre chiavi

Supponiamo di voler introdurre la chiave 765433. La connessione da fare, sempre agli estremi delle resistenze associate alle uscite del 4017, sarà: P8-Q0, P7-Q1, P6-Q2, P5-Q3, P4-Q4 e P4-Q5, mentre il LED verrà collegato alla resistenza associata all'uscita Q6.

Per introdurre la chiave, ogni pulsante rappresenta una cifra.

Flip-flop usato come divisore di frequenza

Utilizzando un circuito integrato 4027, si ottiene un divisore di frequenza per due e per quattro.

Con questo circuito, in cui i flip-flop JK del circuito integrato 4027 vengono configurati come flip-flop T, si parte da una frequenza del clock raggiunta a partire dall'oscillatore astabile formato con le porte NAND, dividendo per due e per quattro la frequenza del suddetto oscillatore. Possiamo verificare visualmente questa divisione osservando la cadenza d'accensione di ogni LED.

Funzionamento

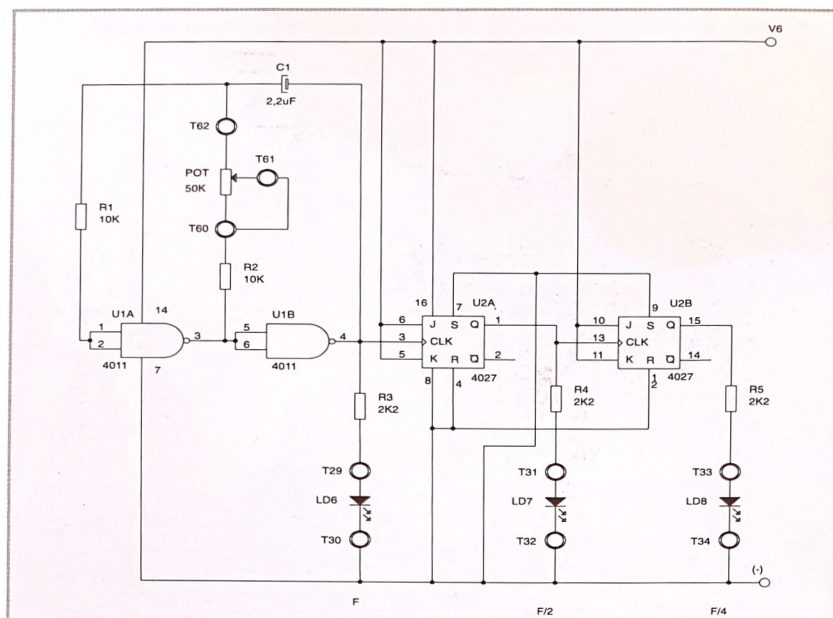
In questo capitolo, dobbiamo spiegare da un lato il funzionamento del flip-flop T, costruito partendo dal flip-flop JK, e dall'altro cerchiamo di consolidare i concetti di "frequenza" e "periodo".

Per quanto riguarda il primo obbiettivo, se osserviamo lo schema, vediamo che basta collegare le entrate J e K al terminale positivo dell'alimentazione e le entrate S e R alla massa per non avere altri problemi. Il flip-flop T è di tipo speciale, perché non ha un segnale d'entrata e a ogni salita del clock cambia uscita. Tenendo conto di ciò, se abbiamo un'uscita a livello alto, applicando un impulso, essa cambia in livello basso, mentre con un altro impulso ritorna a quello alto; abbiamo bisogno, cioè, di due impulsi per ciascun impulso generato all'uscita e, quindi, la frequenza all'uscita sarà la metà rispetto a quella d'entrata. Quanto detto, si traduce nell'effetto opposto per quanto riguarda i periodi: a metà della frequenza abbiamo un doppio periodo e, quindi, il LED si illumina il doppio. Se prolunghiamo il circuito, abbiamo da un lato il LED LD6, il segnale all'uscita dell'oscillatore dell'entrata; questo segnale viene applicato all'entrata del clock CLK di U2A e vedremo nel LED LD7 che il LED lampeggia la metà delle volte rispetto al LED LD6. L'uscita di U2A viene applicata all'entrata del clock di U2B e all'uscita avremo che il LED LD8 lampeggia la metà delle volte rispetto al LED LD7 e un quarto delle volte rispetto al LED LD6.

Il flip-flop T divide per due

Il circuito

Il circuito ha, da un lato, il segnale del clock, generato nell'oscillatore astabile a frequenza variabile all'entrata e con il quale possiamo ottenere una banda di frequenze che va dai 3,4 Hz, con il potenziometro al massimo, fino ai 20,6 Hz, con il potenziometro a 0. Questo segnale viene applicato al flip-flop T, costruito con U2A, e la sua uscita viene por-

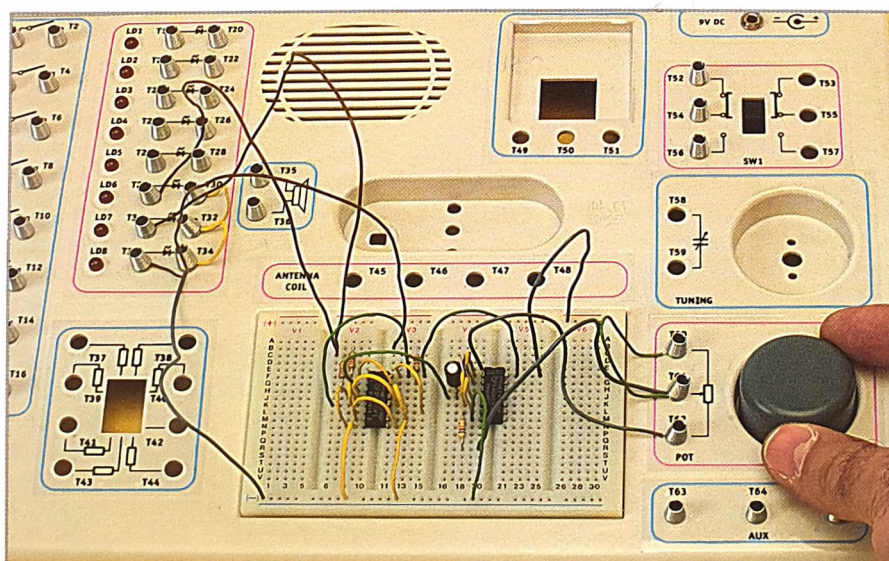
Flip-flop usato come divisore di frequenza

COMPONENTI	
R1, R2	10 K
R3, R4, R5	2K2
C1	2,2 µF
U1	4011
U2	4027
POT	
LD6-LD8	

tata all'altro flip-flop T, formato con U2B. Porre a massa le entrate SET e RESET di tutti e due i flip-flop è molto importante, perché se non lo si facesse si potrebbero aggiungere dei rumori e il suo funzionamento sarebbe errato.

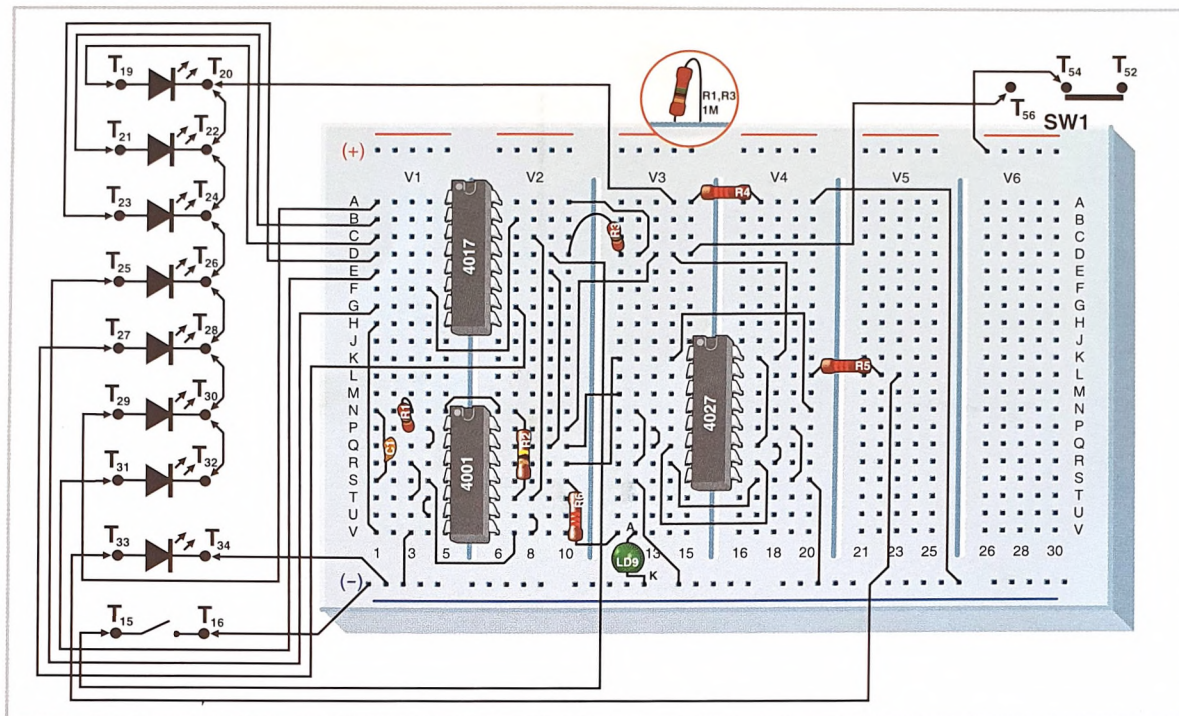
Avviamento

Se il circuito è adeguatamente alimentato, deve funzionare correttamente. In caso contrario, considereremo, innanzitutto, l'alimentazione degli integrati e la polarità del condensatore dell'oscillatore. Se il circuito non funziona ancora, ripasseremo tutte le entrate e le uscite dei flip-flop, per vedere se coincidono con quelle dello schema.

Esperimenti

Se vogliamo cambiare il margine delle frequenze del clock, dobbiamo cambiare i componenti che le determinano nell'oscillatore e che sono: C1 ed R2. Per aumentare la frequenza, diminuiremo questi valori e per ridurla, li aumenteremo. Se la frequenza si alza e si arriva a frequenza audio, ciascuno dei terminali di T29, T31 o T33 può essere collegato all'entrata del potenziometro di controllo del volume dell'amplificatore audio. In questo caso, sembrerà che il LED non si spenga, dato che l'occhio umano non è in grado di seguire frequenze così elevate. Come è logico, si otterranno tre frequenze, ciascuna un'ottava al di sopra della successiva.

Ogni LED lampeggia a una frequenza differente.

Gioco a punteggio

Grazie a questo gioco possiamo passare dei momenti divertenti.

Il circuito che stiamo presentando simula il funzionamento del famoso gioco tascabile "PINBALL". Ogni diodo LED rappresenta un punteggio; ci sono, inoltre, dei punti extra e un abbuono "x2".

Per dare degli impulsi nel 4017 premeremo una volta P8; così, quando liberiamo il pulsante, otterremo dei punti che accumuleremo e potremo gareggiare con i nostri amici.

Funzionamento

Il funzionamento del circuito è semplicissimo; è dotato di una frequenza di clock elevata affinché quando pigiamo P8, i LED variano velocemente e non possiamo decidere di rilasciarlo nel momento in cui il punteggio è quello che ci interessa. Noi abbiamo stabilito il seguente punteggio: LD1 = 1, LD2 = 10, LD3 = 50, LD4 = 100, LD5 = 0, LD6 = 25 e LD7 = 25. Questo è solamente un esempio e voi potrete assegnare loro il punteggio più opportuno a ciascun LED. Abbiamo, inoltre, altri due diodi che sono quelli che indicano l'abbuono: LD8 = "EXTRA" e LD9 = x2. In questo modo possiamo giocare e vedere chi raggiunge un maggior punteggio a ogni tiro, considerando anche la possibilità di avere un tiro extra. Possiamo giocare a questo gioco con diverse persone e giocando impareremo anche qualcosa in più sull'elettronica.

A ogni LED acceso è assegnato un punteggio

Il circuito

Il circuito consta di tre parti: l'oscillatore, il clock e gli abbuoni. Il circuito oscillatore è progettato con porte NOR ed è stato calcolato per avere una frequenza di circa 500 Hz. Il segnale dell'oscillatore viene applicato all'entrata del clock CLK del 4017, ma non farà sì che funzioni, perché la sua entrata di abilitazione /ENA non è attiva. Per farlo funzionare dobbiamo premere P8 e mentre lo facciamo nel 4017 l'uscita attiva si sposterà da Q0 a Q7. Se quando liberiamo il pulsante l'uscita attiva è una di quelle che va da Q0 a Q6, avremo un LED illuminato e avremo ottenuto un punteggio diretto.

L'uscita Q7 resetta il contatore per farlo tornare nuovamente a Q0. L'uscita si attiva anch'essa ogni volta che si produce un RESET e,

Gioco a punteggio

COMPONENTI	
R1, R3	1 M
R2	100 K
R4, R5, R6	2K2
C1	10 nF
U1	4001
U2	4017
U3	4027
LD9	LED verde
LD1 a LD8	
P8	

quindi, quando teniamo premuto P8 si attiverà molte volte. Questa uscita è collegata a due flip-flop JK configurati per formare due flip-flop T, di modo che quando liberiamo il pulsante, LD8 o LD9 possono rimanere attivati.

La velocità dell'oscillatore fa sì che il gioco possa essere considerato d'azzardo.

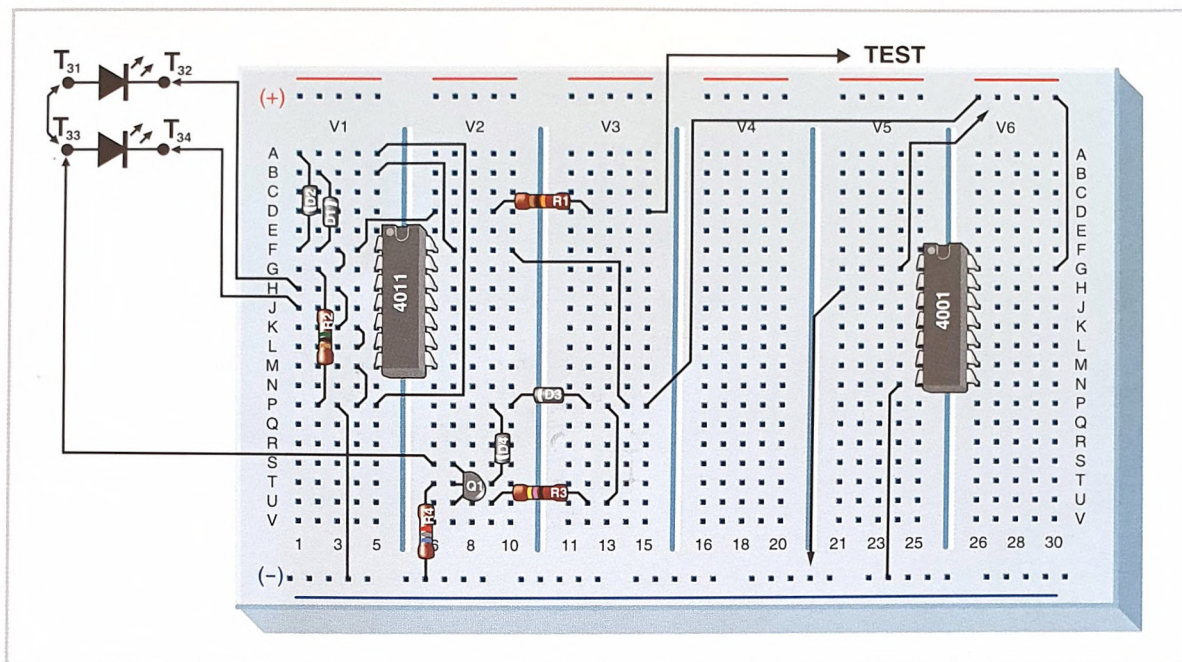
Avviamento

Il circuito deve funzionare al semplice collegamento dell'alimentazione e alla semplice pressione di P8. Se non dovesse farlo, verificheremo, innanzitutto, l'alimentazione dei diversi integrati e, in seguito, la polarità dei LED e tutte le connessioni. Se tutto è ben collegato, il circuito dovrebbe funzionare senza problemi.

Esperimenti

Possiamo variare la frequenza dell'oscillatore, diminuendola per riuscire a osservare ciascun LED attivo a ogni impulso del clock. A tal fine, aumenteremo il condensatore C1 o la resistenza R2, oppure tutti e due. Logicamente, raccomandiamo di aumentare la resistenza per garantire che sia un gioco d'azzardo.

Indicatore del livello logico

Indica lo stato di un segnale del circuito digitale.

Nell'ambito dei dispositivi che consideriamo di verifica, possiamo avere anche questo semplice, ma utile circuito che ci servirà per controllare i circuiti digitali: potremo sapere, in qualunque momento, se nel circuito logico o digitale abbiamo un livello alto o basso. Un paio di LED indicherà se all'uscita c'è un '1' o uno '0'.

Funzionamento

Questo circuito è una semplicissima sonda logica. Il suo funzionamento si limita a rilevare se il segnale da verificare – che verrà collegato ai due estremi dell'entrata – è un livello alto '1' (in questo caso si illuminerà il diodo LED LD7) o se al contrario è un livello basso '0' (nel qual caso si illuminerà il LED LD8).

Dobbiamo tenere presente un'importante considerazione, quando arriva il momento di operare con il circuito: la sua alimentazione deve essere la stessa del circuito da verificare. In ogni caso, non dobbiamo oltrepassare il margine delle tensioni che va da 5 a 15 Volt, che è appunto quello accettato dai circuiti CMOS: nel montaggio utilizziamo il 4011.

Un LED ci indica se è uno '0' oppure un '1'

Il circuito è dotato, inoltre, di una protezione contro le tensioni elevate d'entrata e contro le tensioni negative. L'impedenza d'entrata è elevata per potersi adattare perfettamente a qualunque uscita logica o digitale. Quando l'entrata è uno '0', si illumina il LED LD8, mentre se è un '1', si illumina il LED LD7.

Il circuito

All'entrata del circuito abbiamo inserito un partitore resistivo perché il circuito non venga influenzato dal rumore che potrebbe accoppiarsi all'entrata, causato dal fatto che le porte CMOS sono sensibilissime: potrebbe indicare erroneamente un '1'.

Abbiamo anche protetto il circuito, da un lato, dalle elevate tensioni d'entrata positive (maggiori dell'alimentazione), mediante il diodo D1, e, dall'altro, dalle tensioni d'entrata negative, mediante il diodo D2.

Il transistor Q1, insieme con le resistenze R3, R4 e i diodi D3 e D4, formano un generatore di corrente costante che farà sì che attraverso i LED circoli una corrente di circa 10 mA. I LED, quindi, si illumineranno quando la corrispondente uscita, quella di U1A per LD7

Indicatore del livello logico

COMPONENTI	
R1	10 K
R2	1 M
R3	47 Ω
R4	6K8
D1, D2	1N4001
D3, D4	1N4148
Q1	BC558
U1	4011
LD7, LD8	

e quella di U1B per LD8, si pone a livello basso. Se all'entrata c'è uno '0', l'uscita U1A lo inverte, per cui la sua uscita è un '1' e LD7 non lampeggia, ma U1B, illuminando LD8, lo fa invertire nuovamente. Se, invece, all'entrata c'è un '1', all'uscita di U1A, ci sarà uno '0' e LD7 si illuminerà.

È importantissimo che l'alimentazione di questo circuito sia la medesima di quella del circuito da controllare.

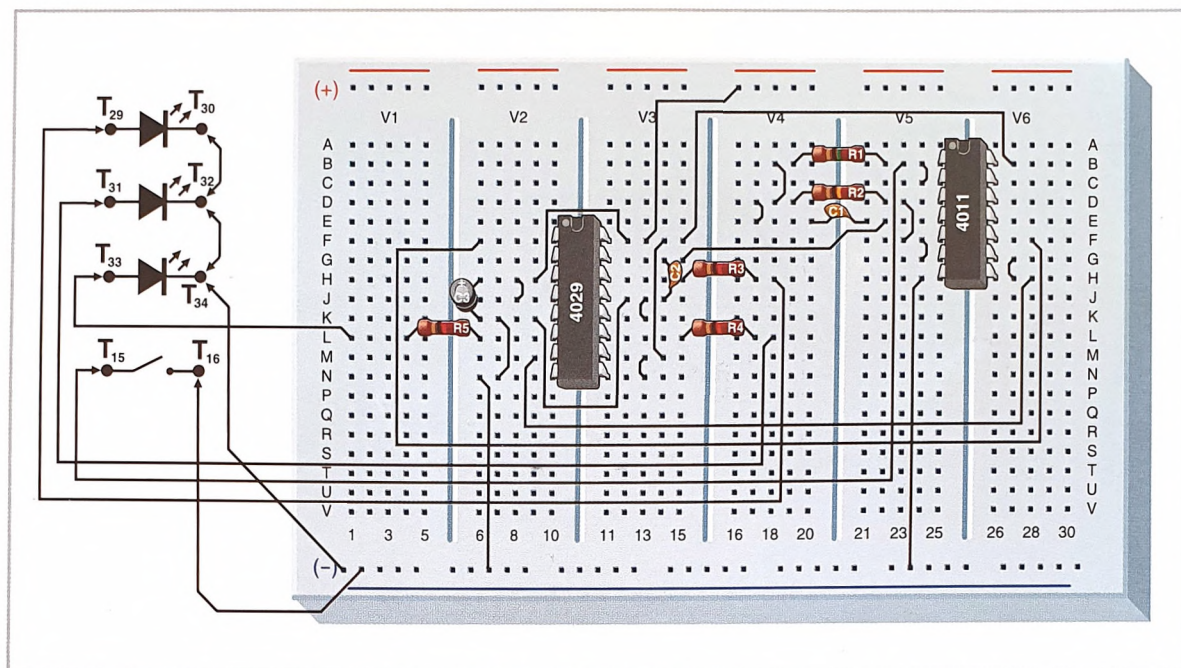
Avviamento

Collocare tutti i diodi con la corretta polarità è importantissimo. In quanto a D1 e D2, la loro errata installazione potrebbe distruggere la porta o il circuito da controllare. D'altra parte, se non collochiamo correttamente D3 e D4, questi non lasceranno illuminare in nessun modo i LED.

Esperimenti

Con questo circuito non possiamo effettuare molti esperimenti; logicamente, possiamo variare la corrente circolante nei LED di modo che si illuminino in minore o maggior misura. A tal fine, dovremo variare la corrente che circola nel collettore di Q1. Faremo ciò riducendo R3 o R4, anche se dobbiamo fare attenzione, perché un valore troppo basso potrebbe distruggere il transistor.

Dado elettronico in sistema binario

Con un impulso, potremo ottenere uno dei numeri posti sulle facce del dado, espresso in sistema binario.

Il circuito è un dado binario realizzato con un contatore binario le cui uscite sono rappresentate grazie a tre LED. Per effettuare un tiro, basterà azionare il pulsante e in questo modo arresteremo l'oscillatore, che è intenzionalmente ad alta frequenza, così che il numero che apparirà sia imprevedibile.

Funzionamento

In pratica, consiste di un circuito contatore realizzato con un 4029 collegato ad un oscillatore ad alta frequenza.

Perché il contatore si fermi, dobbiamo disattivare l'oscillatore premendo P8.

La base del funzionamento è costituita dal conteggio da 9 = 1001 fino a 15 = 1111, numero che sfrutteremo per caricare nuovamente la cifra 9, agendo con l'uscita di CO sull'entrata PE per portare a termine il caricamento. A tal fine, se avessimo 4 LED vedremmo attivati all'uscita del contatore i LED corrispondenti alle uscite a livello alto dei numeri binari 9 = 1001 e 14 = 1110. Ma, se osserviamo il circuito, l'uscita QD non è collegata a nessun LED, per cui quello che viene realmente rappresentato quando nel contatore c'è un 9 binario è 001 = 1 e quando c'è il 14 binario è 110 = 6. In questo modo riusciamo a ottenere all'uscita i sei numeri di cui dispone un dado reale.

Alta frequenza per risultati imprevedibili

Il circuito

Per realizzare il montaggio, utilizziamo l'integrato contatore 4029 in modalità ascendente, per cui possiede a livello alto rispettivamente le entrate B/D e U/D. Delle quattro uscite di cui dispone, QA-QD, se ne utilizzano solamente tre per vedere il codice binario corrispondente ai numeri da 1 a 6 grazie ai diodi LED LD6, LD7 e LD8. In questo caso, l'uscita CO invertita sarà quella incaricata di realizzare il caricamento del primo numero del conteggio, in questo caso 9, quando il contatore arriva alla fine del conteggio, quando, cioè, arriva a (1111). A causa del fatto per cui questa uscita è attiva a livello basso e il caricamento avviene con PE a livello alto, invertiamo l'uscita mediante U1C. Perché il primo numero del conteggio sia 9, abbiamo collocato le entrate A e D a livello alto e le entrate B e C a livello basso. L'o-

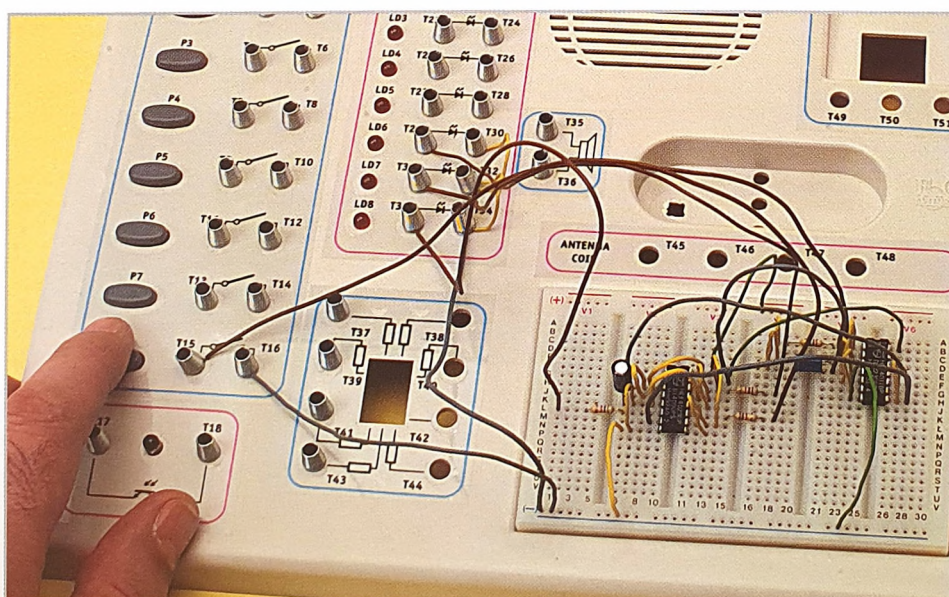
Dado elettronico in sistema binario

COMPONENTI	
R1	1 M
R2	10 K
R3, R4, R5	1 K
C1	100 nF
C2	1 nF
C3	10 mF
U1	4011
U2	4029
LD6, LD7, LD8	
P8	

scillatore è attivo dal momento in cui colleghiamo l'alimentazione a quello in cui il pulsante lo deve fermare, operazione, questa, che facciamo ponendo l'entrata di U1A al negativo.

Avviamento

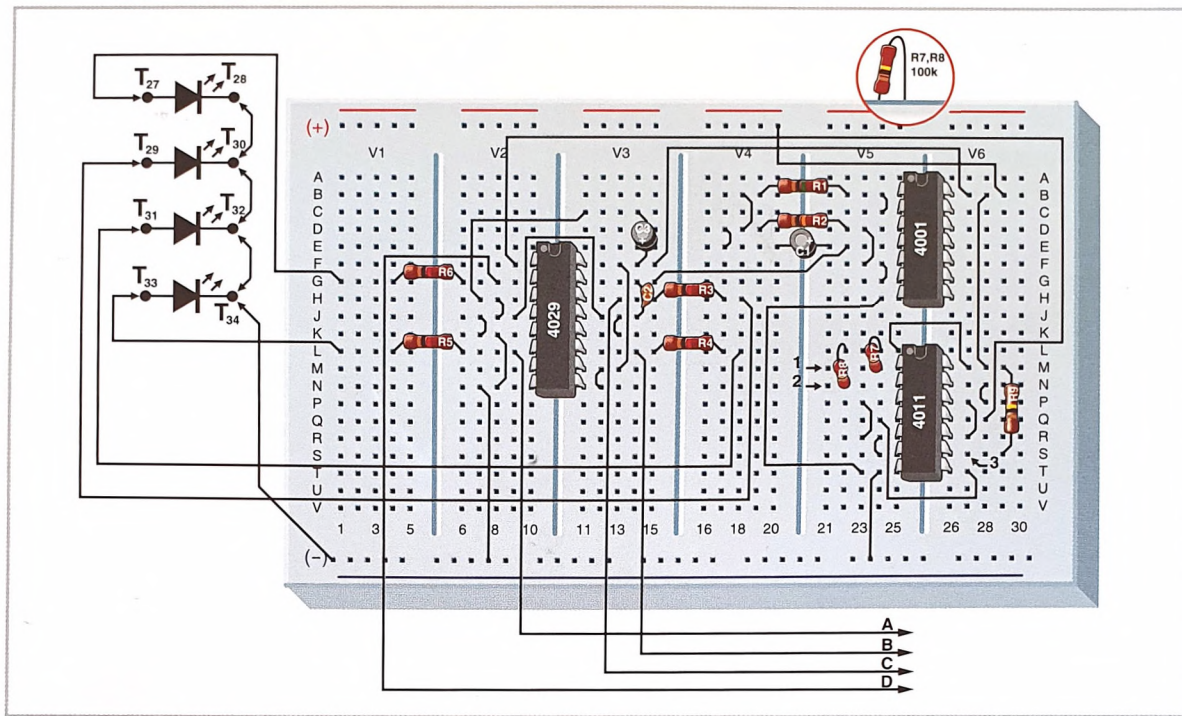
Con l'alimentazione collegata, il contatore deve funzionare e quindi i tre diodi devono essere illuminati perché la velocità del conteggio è sufficientemente veloce. Quando si preme il pulsante, il contatore deve rimanere fermo su un numero.

Se non dovesse funzionare, per prima cosa verificheremo che il 4011 sia ben collegato all'alimentazione e che l'uscita di U1B sia collegata all'entrata del clock del contatore, terminale 15.

L'invertente si incarica di realizzare il caricamento del primo numero del conteggio.

Esperimenti

Possiamo ridurre la frequenza e, così, provare a cercare di fermare l'uscita a un determinato numero. A tale fine, la velocità deve essere tale da consentirci di poter distinguere i numeri, ma abbastanza veloce da richiedere il massimo sforzo da parte dei giocatori e segnare la differenza.

Selettore di fine conteggio

Si utilizza per selezionare l'ultimo numero del conteggio.

Questo circuito ci permette di realizzare un contatore che conta da 0 a qualunque numero possiamo fissare, sempre che sia minore di 14. A tale fine, basterà realizzare alcuni ponti tra le uscite del contatore A, B, C e D e le entrate 1, 2 e 3, come descriveremo in seguito.

Il circuito

Il circuito ha tre parti ben differenti. Da un lato c'è il circuito oscillatore, realizzato a partire da porte NOR e che genera una frequenza del clock perché le uscite del contatore avanzino lentamente. Dall'altra parte troviamo il circuito contatore e i diodi LED dell'uscita con le corrispondenti resistenze limitatrici. L'ultima parte è costituita da un circuito logico combinazionale che consiste, in realtà, di una porta AND a tre entrate. Tutte le loro entrate sono poste a livello alto grazie alle resistenze R7, R8 e R9. In questo modo, senza collegare nessuna entrata a nessuna uscita, il circuito non conta, perché c'è un '1' all'entrata PE e all'uscita appare quello che c'è alle entrate A, B, C e D. Il condensatore C1 serve ad eliminare i possibili impulsi delle frequenze elevate che potrebbero indebitamente far avanzare il contatore.

Funzionamento

La regola per costruire un contatore è quella di "resettare" con degli 'uno' prelevati dall'ultimo numero del conteggio. Può sembrare complicatissimo, ma è più semplice di quanto non sembri e lo andiamo a vedere meglio grazie ad un esempio.

Supponiamo di volere che conti da 0 a 7. A tale scopo, utilizzeremo l'8 = 1000 (QD = 1, QC = QB = QA = 0) per resettare il contatore, perché dopo il 7 il numero successivo sarà ancora lo 0. Del numero 8 utilizzeremo solamente il bit che sta a '1', per cui collegheremo l'uscita D a una qualsiasi delle entrate 1, 2 o 3.

La selezione si effettua con circuiti logici

Come abbiamo detto prima, se non colleghiamo niente alle entrate della AND (1, 2 o 3), il contatore non conta. Abbiamo posto tre entrate perché solamente il 15 ha quattro uno e dopo il 15 (1111) viene lo 0 (0000) per

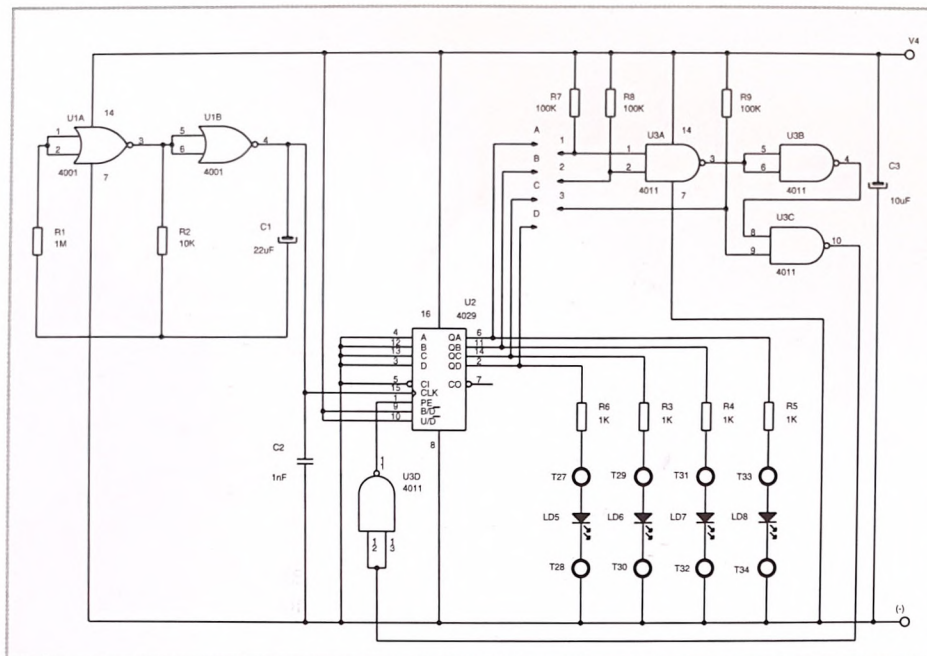
Selettore di fine conteggio

COMPONENTI	
R1	1 M
R2	10 K
R3, R4, R5, R6	1 K
R7, R8, R9	100 K
C1	22 µF
C2	1 nF
C3	10 µF
U1	4001
U2	4029
U3	4011
LD5 a LD8	

TAVOLA DEL BINARIO

DCBA	DECIMALE
0000	0
0001	1
0010	2
0011	3
0100	4
0101	5
0110	6
0111	7
1000	8
1001	9
1010	10
1011	11
1100	12
1101	13
1110	14

cui non ci sarebbe un errore, ma tuttavia, ciò ci impedisce di contare dallo 0 al 14, dato che il 14 (1110) è l'ultimo numero, per cui si deve usare per caricare lo 0000 nel contatore. Perciò, l'ultimo numero fino al quale possiamo contare è il 13.

Essendo tutte le entrate a livello alto non è necessario collegarle tutte: basta collegarne una perché il circuito funzioni. Il numero minimo che possiamo conteggiare è da 0 a 1, per cui dobbiamo collegare l'uscita che possiede un livello alto del numero 2 = 0010 (QD = 0, QC = 0, QB = 1, QA = 0); l'uscita B, cioè, a una delle entrate 1, 2 o 3.

Esperimento 1

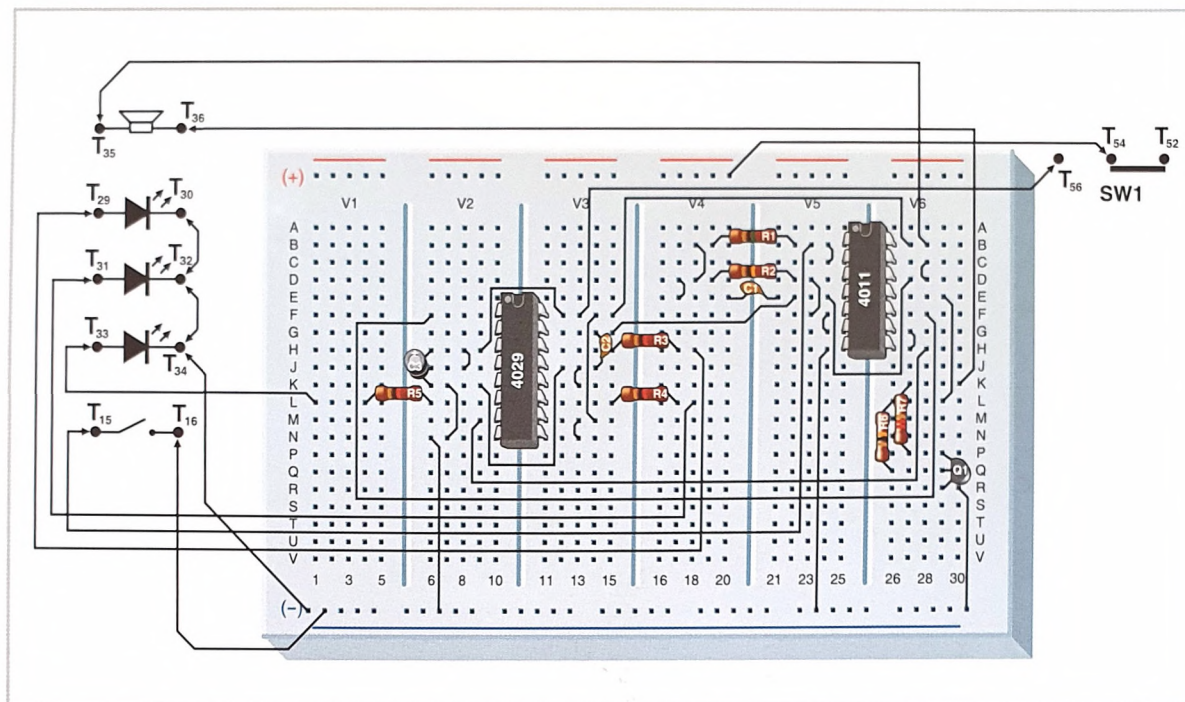
Andiamo a costruire un circuito contatore da 0 a 4; a tale fine dobbiamo usare il 5 = 0101 (QD = 0, QC = 1, QB = 0, QA = 1) per caricare lo 0. A tale fine collegheremo le uscite A e C a due delle entrate 1, 2 o 3. Possiamo provare a collegarlo a una qualsiasi di esse indistintamente e verificheremo che non influisce sul funzionamento.

Si uniscono ai terminali 1, 2 o 3 gli 'uno' di A, B, C o D corrispondenti al numero successivo all'ultimo del conteggio.

Esperimento 2

Verificheremo che se colleghiamo l'uscita A a una delle entrate 1, 2 o 3, il circuito non conta. Questo è dovuto al fatto che stiamo contando da 0 a 0 e utilizzeremo l'1 (QD = 0, QC = 0, QB = 0, QA = 1), per caricare, collegando l'uscita A.

Dado sonoro

Un ronzio ci indicherà la possibilità di effettuare un nuovo tiro.

Il circuito è un dado elettronico a cui abbiamo inserito il suono, di modo che un ronzio indicherà che possiamo premere il pulsante e fare un nuovo tiro. Quando il pulsante viene premuto, appare nei LED un valore espresso in binario compreso tra 1 e 6 e corrispondente ai possibili valori del dado.

Il circuito

Il circuito è costituito da diverse parti. Innanzitutto abbiamo un circuito oscillatore incaricato di far avanzare il contatore. Questo circuito funziona permanentemente quando viene alimentato, mentre si ferma quando viene premuto il pulsante P8, dato che, così facendo, poniamo a zero l'entrata dell'oscillatore (terminali 1 e 2 di U1A). Il segnale del clock viene utilizzato anche per ottenere un suono; si inverte con U1D e viene portato, attraverso la resistenza R6, alla base del transistor Q1, nel cui circuito del collettore è collegato un altoparlante che suonerà se l'amplificatore sta funzionando.

Il circuito contatore è configurato per contare nel sistema binario e in modalità ascendente dal 9 al 15; utilizzando solamente tre LED, però, si legge dall'1 al 6, utilizzando l'uscita CO (trasporto dell'uscita) invertita per caricare l'inizio del conteggio. Per collegare l'alimentazione, dobbiamo attivare l'interruttore SW1.

Premendo P8 si fermerà il contatore

Funzionamento

Il funzionamento del circuito è semplicissimo. Con l'alimentazione collegata all'altoparlante, si deve poter sentire un acuto ronzio e i tre LED si devono accendere, grazie al fatto che le tre uscite del contatore stanno cambiando ad una velocità piuttosto elevata. Dicendo che cambiano, vogliamo intendere che il contatore sta contando 1, 2, fino a 6 per cui le uscite cambiano di stato.

Quando vogliamo effettuare un tiro, basterà premere P8 per fermare il contatore e perché nei tre LED appaia rappresentato il numero dell'uscita. Mentre manteniamo premuto P8, il contatore avrà la sua uscita bloccata e l'altoparlante non suonerà, perché l'oscillatore rimarrà disattivato.

Dado sonoro

COMPONENTI

R1	1 M
R2, R6	10 K
R3, R4, R5	1 K
R7	220 Ω
C1	220 nF
C2	1 nF
Q1	BC548
U1	4011
U2	4029
LD6, LD7, LD8	
SW1	
P8	
ALTOPARLANTE	

Avviamento

Il circuito deve funzionare collegando semplicemente l'alimentazione mediante l'interruttore SW1.

Se nessuno dei LED si illumina, verificheremo l'alimentazione negli integrati U1 e U2. Rivedremo anche la polarità dei LED LD6, LD7 e LD8, così come i contatti del commutatore che siano situati nei corrispondenti posti.

Esperimenti

Nessuno dei componenti di questo progetto è difficile, per cui possiamo modificare il valore di qualsiasi componente. Così, possiamo cambiare la frequenza dell'oscillatore, sia per ottenere un suono più gradevole sia per ottenere che il clock proceda più lentamente e verificare, in tal modo, come cambino le uscite del contatore. Bisogna dire, però, che se esso avanza troppo lentamente, il suono non si sentirà. Possiamo modificare, senza introdurre troppi cambiamenti, anche la polarizzazione del transistor per poter cambiare la potenza dell'uscita dell'altoparlante.

Se la frequenza dell'oscillatore è all'interno della banda audio, potrà essere udita dall'altoparlante.

Porta NOR a quattro entrate

Realizziamo una combinazione di porte per ottenere una NOR a quattro entrate.

Il circuito è una porta NOR a quattro entrate, realizzata a partire da una circuiteria logica di varia tipologia. La sua costruzione risponde alle leggi di Morgan. Inoltre, abbiamo collegato l'uscita per mezzo di un transistor, così da non sovraccaricare la porta; in questo modo, a partire da una semplice porta logica, potremo collegare elementi di maggior potenza.

Teoria logica

Il funzionamento del circuito è semplicissimo.

Si tratta di una porta logica NOR a quattro entrate, per cui la sua uscita corrisponderà alla tavola che abbiamo rappresentato. Se ricordiamo le leggi di Morgan e osserviamo la funzione NOR a quattro entrate, la possiamo suddividere in un prodotto di due somme invertite; vediamo, nei particolari: /(A + B + C + D) = /(A + B)*/(C + D). Questo è il prodotto delle due somme invertite. Se parliamo a livello di logica, vediamo che si tratta di due porte NOR, le cui entrate sono, rispettivamente, A-B e C-D. Il prodotto intermedio è una funzione AND. In questo modo, riusciamo a realizzare una funzione logica attraverso una semplice combinazione di porte.

Un LED indicherà lo stato dell'uscita

Funzionamento

Una volta compreso meglio il circuito, passeremo a verificarlo.

A tale scopo, utilizzeremo la tavola e verificheremo ad una ad una le uscite attraverso il pilotaggio delle rispettive entrate. I livelli logici '1', li otterremo premendo il rispettivo pulsante. Per il livello logico '0', lasceremo aperto il pulsante, perché, in situazione di riposo, tutte le entrate sono '0' a causa del fatto per cui sono tutte unite al negativo dell'alimentazione per mezzo delle resistenze R1, R2, R3 e R4.

Il circuito

Il circuito è un fedele riflesso della funzione logica che rappresenta. I livelli d'entrata li otteniamo per mezzo dei pulsanti P1, P2, P3 e P4.

Con i pulsanti aperti otterremo uno '0' all'entrata corrispondente mentre con i pulsanti chiusi avremo il livello alto '1' nella resistenza collegata all'entrata. Le uscite delle porte NOR pas-

Porta NOR a quattro entrate

COMPONENTI	
R1,R2, R3	100 K
R4	82 K
R5	10 K
R6	680 Ω
U1	4001
U2	4011
Q1	BC338
LD8	
P1 a P4	

NOR A 4 ENTRATE

D	C	B	A	S	DECIMALE
0	0	0	0	1	0
0	0	0	1	0	1
0	0	1	0	0	2
0	0	1	1	0	3
0	1	0	0	0	4
0	1	0	1	0	5
0	1	1	0	0	6
0	1	1	1	0	7
1	0	0	0	0	8
1	0	0	1	0	9
1	0	1	0	0	10
1	0	1	1	0	11
1	1	0	0	0	12
1	1	0	1	0	13
1	1	1	0	0	14
1	1	1	1	0	15

sano a una porta AND realizzata a partire dalle porte NAND, per cui avremo una porta di questo tipo seguita da un'altra configurata come invertente. L'uscita, che equivale all'uscita di una porta NOR con quattro ingressi, è connessa alla base di un transistor per attivare in questo modo il LED collegato al suo collettore che si illumina quando l'uscita è un livello alto '1'.

Il pulsante aperto equivale a uno '0', quello chiuso a un '1'.

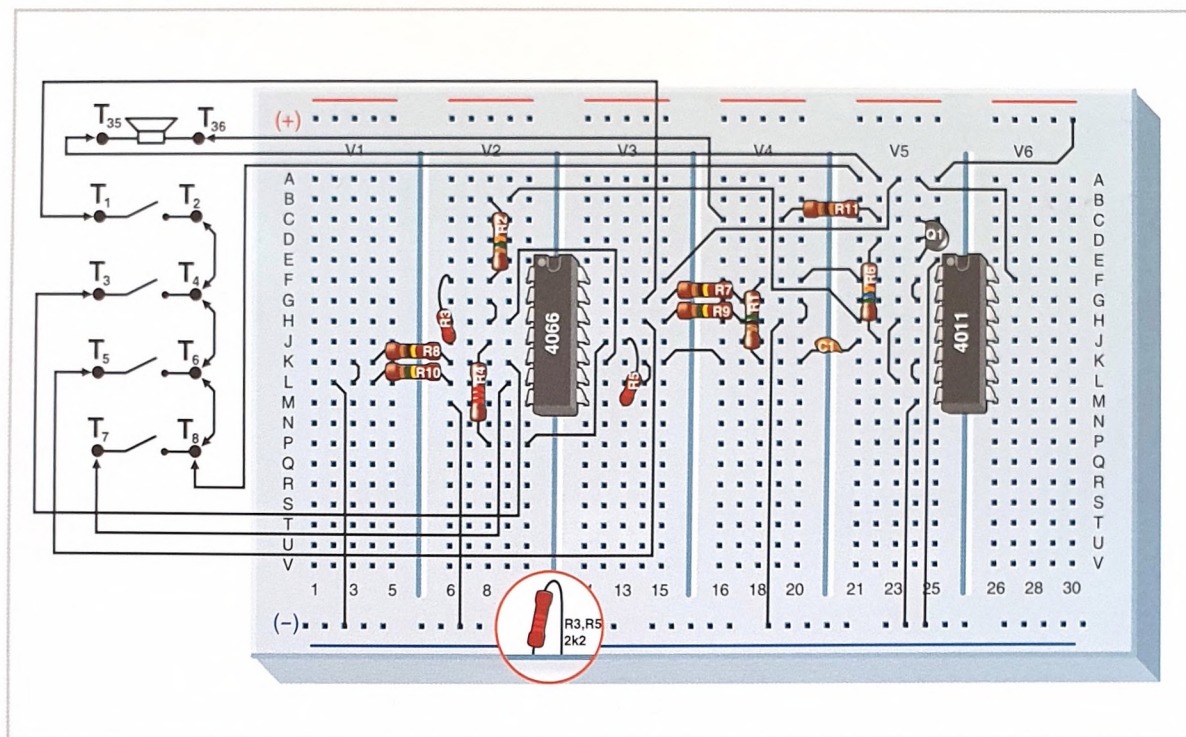
Avviamento

Prima di collegare il circuito all'alimentazione, dobbiamo verificare tutte le connessioni per evitare possibili errori di montaggio. Soprattutto, dovremo fare attenzione all'alimentazione dei circuiti integrati e alla polarità del transistor, come anche quella dei LED.

Esperimenti

L'unico punto del circuito che possiamo modificare è quello della polarizzazione del transistor per variare l'intensità luminosa del LED. Perciò, cambieremo la resistenza del collettore. Se vogliamo diminuire la luminosità, ne aumenteremo il valore, ma dobbiamo tenere conto del fatto che stiamo alimentando il circuito con delle pile e conviene ridurne i consumi.

Organetto con 4066

Controllando le porte logiche, la frequenza dell'oscillatore cambia.

In questo esperimento si utilizzano degli interruttori analogici per variare il valore della resistenza che determina la frequenza di un oscillatore, realizzato con porte NAND. Si ottiene un organetto a quattro note. I pulsanti agiscono sugli interruttori elettronici che cambiano le resistenze.

Funzionamento

Proprio come possiamo vedere, la base del circuito è un oscillatore realizzato con porte NAND. Per ottenere le differenti frequenze, non dobbiamo fare altro che variare la frequenza che configura la frequenza dell'oscillatore. Il circuito ha quattro pulsanti, P1, P2, P3 e P4, che controllano direttamente le entrate di controllo degli interruttori analogici, di modo che ogni volta che ne premiamo uno, attiveremo il suddetto interruttore. Se premiamo P1, chiuderemo U2A e sarà R2 la resistenza che fa parte dell'oscillatore. Se premiamo P2, attiveremo U2C e la resistenza dell'oscillatore sarà R2 + R3. Premere P3 presuppone l'attivazione di U2B e la modifica della resistenza dell'oscillatore tramite R2 + R3 + R4. Infine, se premiamo P4, attiveremo la resistenza dell'oscillatore che in questo caso sarà la somma totale di R2 + R3 + R4 + R5.

Il valore di una resistenza si altera

Il circuito

Come abbiamo visto, la base del circuito è costituita dagli interruttori analogici controllati digitalmente.

Quando l'entrata di controllo (terminale C) di questi interruttori è a livello basso, tra i terminali A e B c'è un'impedenza elevatissima e, quindi, dobbiamo tenere aperto il circuito. Ma, se l'entrata di controllo è a livello elevato, tra i terminali A e B esiste una resistenza piccolissima, di pochi Ohm e, quindi, si considerano i terminali come se fossero uniti. Questa proprietà viene utilizzata per collegare le resistenze tra i punti a nostra scelta dell'oscillatore.

Le resistenze da R7 a R10 vengono utilizzate per assicurare che le entrate controllo siano

Organetto con 4066

COMPONENTI	
R1	1 M
R2	15 K
R3, R4, R5	2K2
R6	56 K
R7, R8	100 K
R9, R10	150 K
R11	100 Ω
Q1	BC338
U1	4011
U2	4066
ALTOPARLANTE	
P1, P2, P3, P4	

a basso livello, quando non vengono azionati i pulsanti, mantenendo pertanto aperti gli interruttori. Quando non si agisce su nessun interruttore, l'oscillatore non funziona, non avendo nessuna resistenza nel circuito di oscillazione.

Ogni pulsante attiverà un interruttore che cambierà la frequenza di oscillazione.

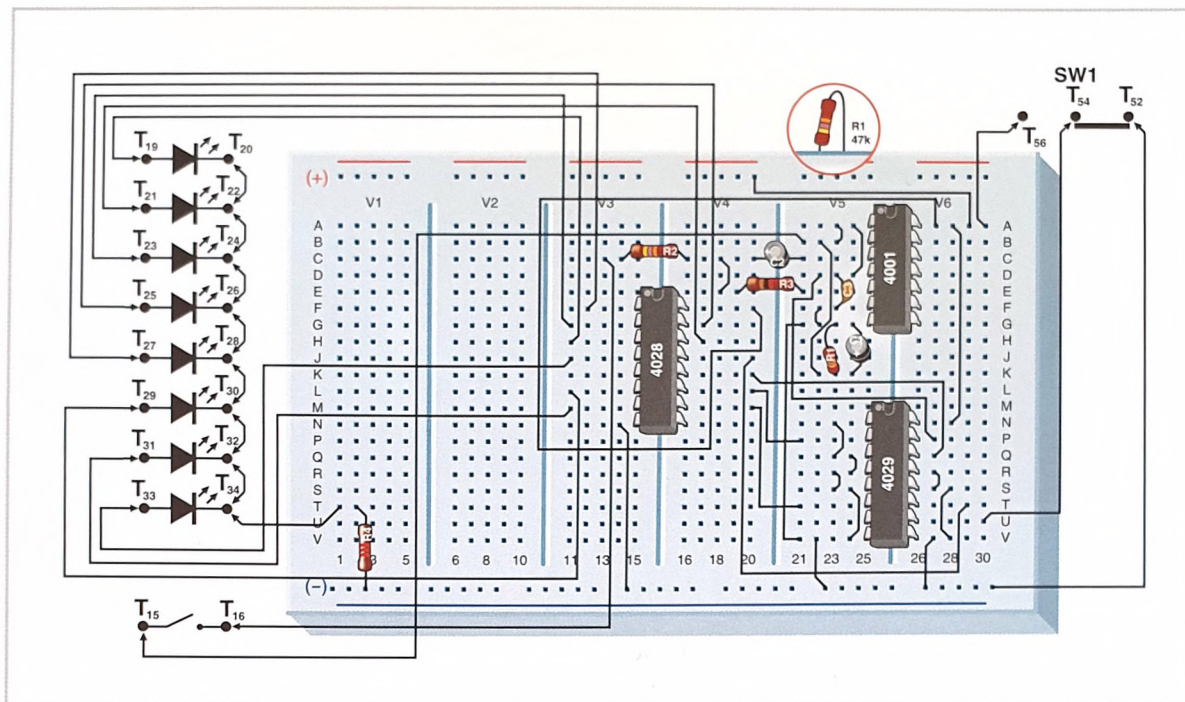
Avviamento

Se il circuito non funziona quando si preme qualche pulsante, si devono verificare le connessioni del 4066, oltre all'alimentazione. È importantissimo che ricontrolliamo la polarità dell'integrato con cui abbiamo costruito l'oscillatore. Se tutto è in buono stato e ben collegato, non dovrebbe sussistere nessun problema, perché il circuito non presenta nessun punto critico.

Esperimenti

Ognuna delle frequenze che costituiscono l'organetto viene formata dalle resistenze R2- R5. Perciò la generazione delle frequenze è data dalla variazione di queste resistenze, cambiando così il suono emesso dall'altoparlante.

Luci bidirezionali

I LED si illuminano in ordine ascendente o discendente.

Il contatore del circuito avanza manualmente azionando, brevemente, il pulsante P8; se si mantiene premuto, l'oscillatore si avvia e conta in maniera continuativa. Con il commutatore SW1, si sceglie se il contatore conteggia in modalità ascendente o discendente.

Funzionamento

Quando si collega l'alimentazione al circuito, il diodo LED corrispondente all'uscita Q0 si illumina; si illumina, cioè, il LED LD1. Se il pulsante P8 non si aziona , questo stato verrà mantenuto fino a quando rimarrà alimentato il circuito.

Il commutatore SW1 ci permette di scegliere il senso del conteggio. Se facciamo in modo che si uniscano T54 e T56, conterà in modalità ascendente, mentre se facciamo in modo che si uniscano T52 e T54, il conteggio verrà realizzato in modalità discendente. Se il conteggio è ascendente, ogni volta che si preme P8, il contatore verrà incrementato e il LED illuminato passerà da Q0 fino a Q7. Se il conteggio è discendente, ogni volta che viene introdotto un impulso, il contatore diminuirà di una unità e il LED illuminato passerà da Q7 fino a Q0. Dobbiamo tenere conto del fatto che le uscite Q8 e Q9 non hanno un LED, per cui quando sono attive, nessuno dei LED sarà illuminato.

Ha un commutatore che consente di scegliere la modalità ascendente o discendente

Il circuito

Nel montaggio abbiamo due distinte parti; da un lato la parte che controlla, mentre dall'altro quella controllata. La prima è il contatore con il suo generatore di impulsi e l'oscillatore. Il generatore di impulsi, realizzato con le porte NOR U1A e U1B, è in realtà un piccolo monostabile che genera un piccolo impulso quando viene rilevata l'azione del pulsante P8. A causa del fatto per cui a ogni pulsazione si producono, per effetto dei rimbalzi, molte transizioni tra i livelli alto e basso, non appena il monostabile rileva la prima di queste e si attiva, elimina le altre di modo che all'entrata del clock del contatore giunga dall'uscita di U1B un impulso pulito. Se tutto ciò non venisse fatto, a ogni pulsazione il contatore

Luci bidirezionali

COMPONENTI	
R1, R2	47 K
R3	1K
R4	2K2
C1	2,2 µF
C2	1 µF
C3	1 nF
U1	4001
U2	4029
U3	4028
SW1	
P8	
LD1 a LD8	

conterebbe "a salti", perché verrebbero a prodursi diversi impulsi consecutivi. Se viene mantenuto premuto, funziona come un oscillatore.

Il contatore è configurato in modalità decimale, con l'entrata B/D = 0 e il senso del conteggio ascendente/discendente viene scelto mediante il commutatore SW1, che collega direttamente l'entrata U/D al positivo e al negativo dell'alimentazione.

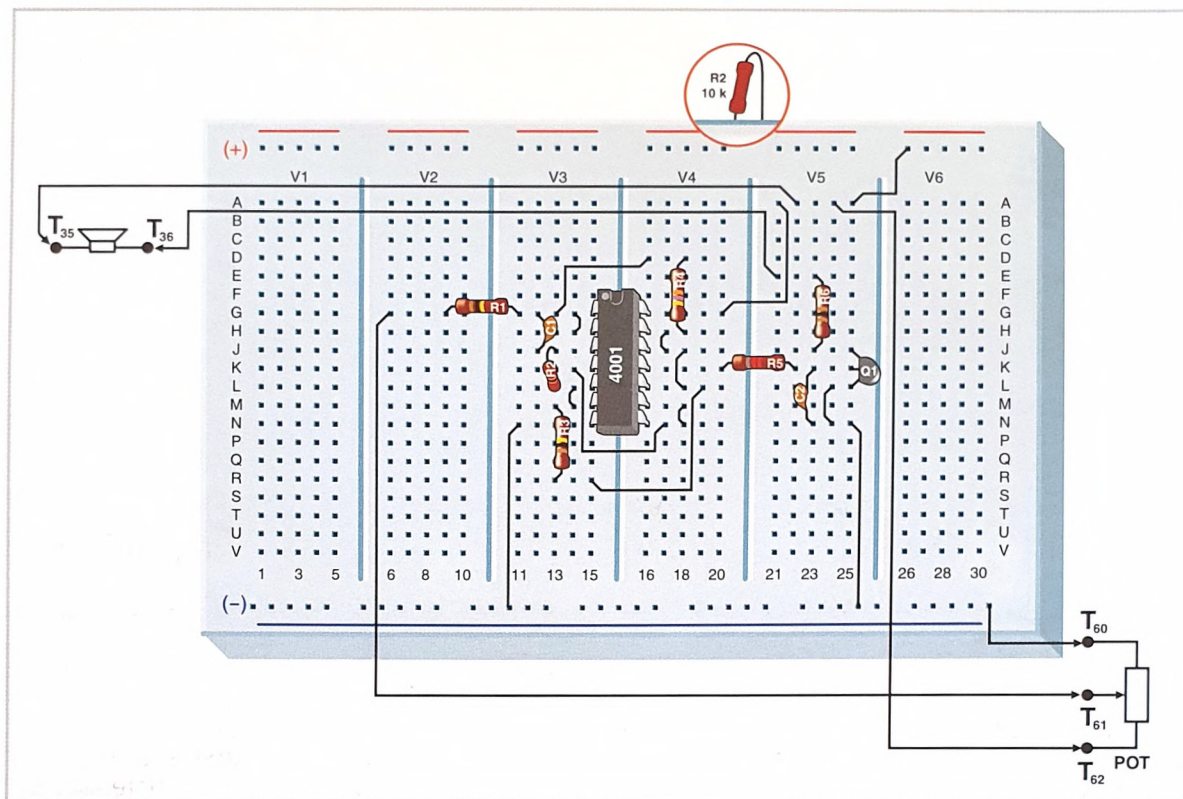
La parte controllata dai LED, collegati al 4028, può essere governata a nostro piacimento. A causa del fatto per cui le uscite del decodificatore sono attive a livello alto, dobbiamo collegare le suddette uscite all'anodo dei LED perché si illuminino quando tutto ciò succede.

Ogni volta che si aziona P8 avanza il conto e cambia il LED illuminato.

Esperimenti

Si può cambiare la resistenza della polarizzazione dei LED per cambiarne l'illuminazione. Tenendo conto che l'integrato come massimo ci eroga 10 mA, non è consigliabile ridurre il valore di R4 al di sotto di 1K.

VCO con porte NOR

La frequenza iniziale è proporzionale alla tensione del terminale T61.

Il circuito con cui effettuiamo questo esperimento è un VCO. Questo circuito, come indica la sigla, è un oscillatore controllato dalla tensione, la frequenza del segnale di uscita, cioè, dipende da una tensione che verrà applicata in un punto del circuito; in questo caso all'entrata dello stesso circuito. Il segnale risultante viene amplificato mediante un transistor prima di essere trasferito all'altoparlante di uscita. Pertanto, nell'altoparlante avremo una gamma di frequenze che possono essere la base per fare degli esperimenti con musica elettronica, ma questa è solo una delle possibili applicazioni di questo tipo di circuito.

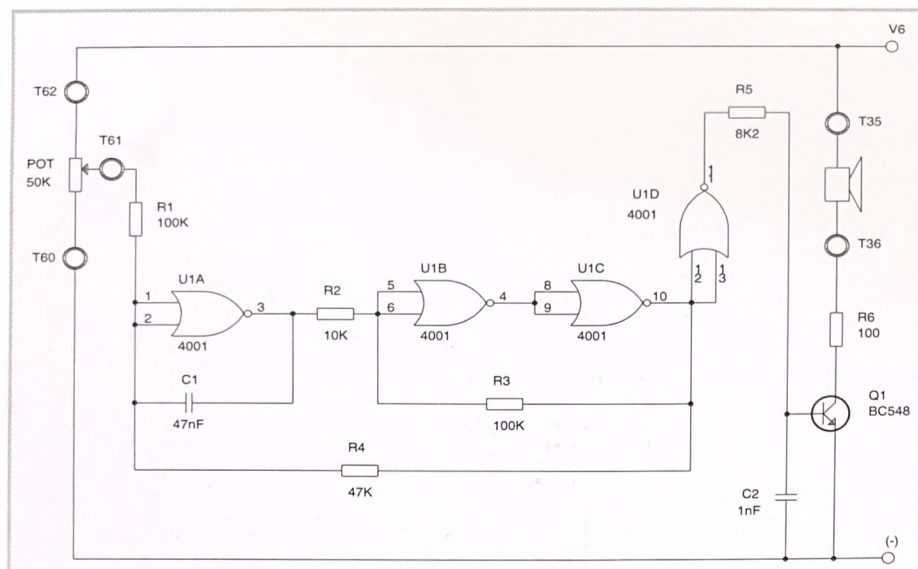
Funzionamento

La tensione viene regolata manualmente

Il circuito basa il proprio funzionamento sulla generazione nella porta U1A di un'onda triangolare. Riusciamo ad ottenere quest'onda triangolare costante attraverso il condensatore C1. Con il potenziometro riusciamo a controllare la suddetta corrente in modo da controllare il tempo che il segnale triangolare impiega per generarsi e pertanto la frequenza del segnale in uscita. Il segnale di uscita non ci sarebbe utile se non esistesse un circuito che provoca una instabilità e che la converte in un oscillatore vero e proprio. Tutto ciò si ottiene introducendo due porte che provocano un ritardo e generano l'oscillazione. Il segnale risultante viene amplificato

Il circuito

Il circuito possiede tre stadi, ciascuno dei quali ha delle funzioni ben definite. La prima parte è formata dal potenziometro POT, da R1, C1 e U1A. Questa è la parte incaricata di generare un segnale triangolare, permettendo la carica del condensatore con corrente costante attraverso il POT e R1. Lo stadio successivo è costituito dalle porte U1B, U1C e dalle resistenze R2, R3 e R4. Questo stadio è quello che produce l'oscillazione del circuito sfruttando il ritardo prodotto dalle porte U1B e U1C. La resistenza R4 riporta l'oscillazione alla porta U1A, permettendo che il condensatore si scarichi e permettendo, quindi, la ge-

VCO con porte NOR

COMPONENTI	
R1, R3	100 K
R2	10 K
R4	47 K
R5	8K2
R6	100
C1	47 nF
C2	1 nF
U1	4001
Q1	BC548
POT	
ALTOPARLANTE	

nerazione dell'onda triangolare, base del circuito. Perché il segnale di uscita non degeneri in autoscillazioni, è stata collocata una porta intermedia U1D, che si utilizza per trasferire il segnale allo stadio di uscita, formato dal transistor Q1 che si collega direttamente all'altoparlante, collegato nel circuito del collettore.

Avviamento

Il circuito deve funzionare quando si collega l'alimentazione; se non lo fa, ciò può essere dovuto a una connessione errata di qualche componente, per cui dovremo ripassare tutto il montaggio, iniziando dall'alimentazione del circuito integrato e dai terminali del transistor Q1.

Esperimento 1

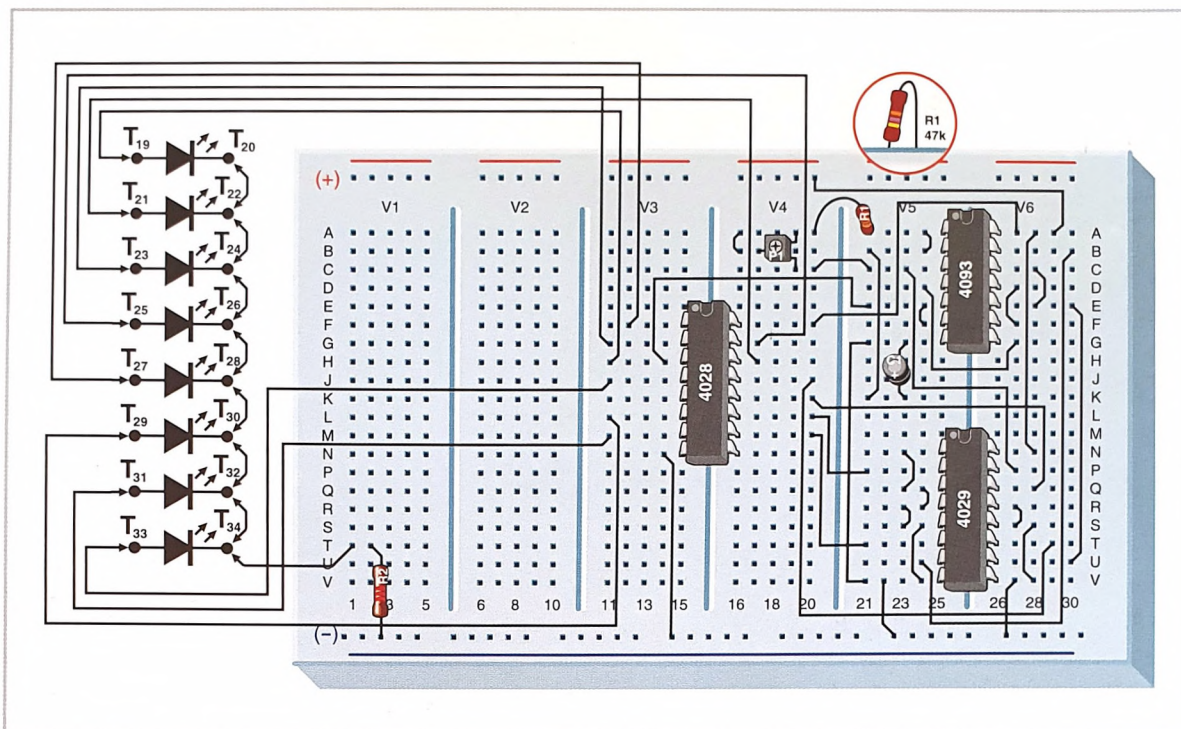
Il circuito è dotato di una considerevole gamma di frequenze, ottenute agendo sul cursore del potenziometro POT. I loro valori sono dovuti ai valori dei componenti POT, R1 e C1, per cui, cambiandone uno qualunque, potremo ottenere una diversa gamma di frequenze; lo potremo verificare dal diverso tono che avremo in uscita dall'altoparlante.

In un VCO, la frequenza viene regolata dalla tensione.

Esperimento 2

Per cambiare la polarizzazione del transistor Q1, dovremo agire su R5 e/o R6. In questo modo, se aumentiamo R5 e/o R6, otteniamo una minor potenza di uscita. Invece, se diminuiamo questi valori, otterremo una potenza maggiore. Quest'ultima operazione può risultare un po' arrischiata se non abbiamo ben presente la possibilità di poter distruggere il transistor per un eccesso di corrente. Per evitare una tale evenienza, diminuiremo la resistenza della base, curandoci di non abbassarla al di sotto di 2K2.

Luce automatica bidirezionale

Il LED illuminato si sposta automaticamente a sinistra e a destra.

Una luce che si sposti ininterrottamente e automaticamente a destra e a sinistra ci può essere familiare. Si tratta del montaggio che proponiamo in questo esperimento e che potrà essere, ad esempio, un singolare e vistoso allarme per autovetture.

Funzionamento

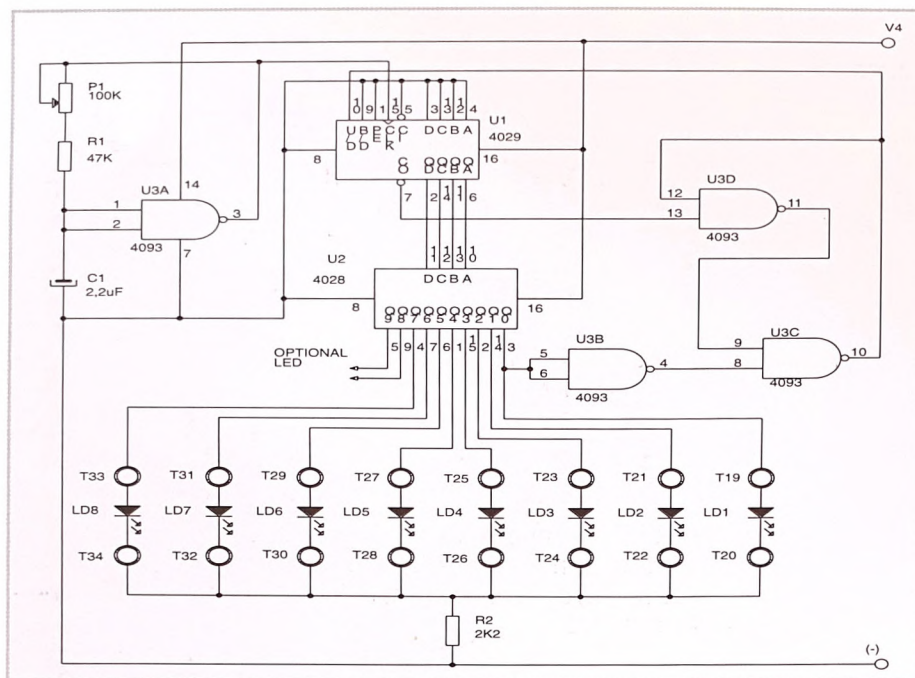
Il decodificatore, le cui uscite saranno collegate ai LED, è governato da un contatore ascendente/discendente con un clock di frequenza variabile. La direzione verso cui si sposta il LED che si illumina viene determinata dal verso del conteggio del contatore, il quale stabilisce anche il livello logico dell'entrata U/D. Questo livello cambia automaticamente quando arriva alle due estremità del conteggio – 9 e 0 – di modo che il LED si starà spostando continuamente da un lato all'altro.

P1 regola la frequenza

Il circuito

Il circuito ha quattro parti ben differenziate: il clock, il contatore, il decodificatore e la logica di cambiamento della direzione dei LED. Il clock del circuito è realizzato con la porta U3A del 4093. Possiamo variare la frequenza dell'oscillatore e, quindi, la velocità di spostamento del LED, grazie al potenziometro P1. Il segnale dell'oscillatore viene applicato all'entrata del clock del 4029, che, a sua volta, controlla il decodificatore 4028.

Quest'ultimo integrato si connette direttamente agli otto LED dell'uscita (da Q0 a Q7). Dato che i LED sono otto e le uscite Q8 e Q9 non sono collegate, quando le attiviamo, per un istante, tutti i LED rimarranno spenti. Per quanto riguarda la logica per cambiare verso, quello che si deve fare è cambiare automaticamente lo stato d'entrata U/D del contatore attraverso un flip-flop R-S. Quando il contatore arriva al suo conteggio massimo, contando in modalità ascendente, si attiva a livello basso l'uscita /CO; ciò "resetta" il flip-flop ponendo a basso livello ('0') l'entrata U/D, per cui il contatore inizia il suo conteggio in modalità discendente. Quando il contatore arriva a '0', l'uscita Q0 del decodificatore si attiva a livello alto; invertendo il suddetto segnale otterremmo il livello basso di cui abbiamo bisogno

Luce automatica bidirezionale

COMPONENTI	
R1	47 K
R2	2K2
P1	100 K
C1	2,2 µF
U1	4029
U2	4028
U3	4093
LD1 a LD8	

per "resettare" il flip-flop Tutto ciò metterà all'entrata U/D un livello alto '1' e, quindi, il contatore inizierà il suo conteggio ascendente. Si deve ripetere nuovamente e ininterrottamente tutto il processo fino a quando è presente la tensione dell'alimentazione.

Avviamento

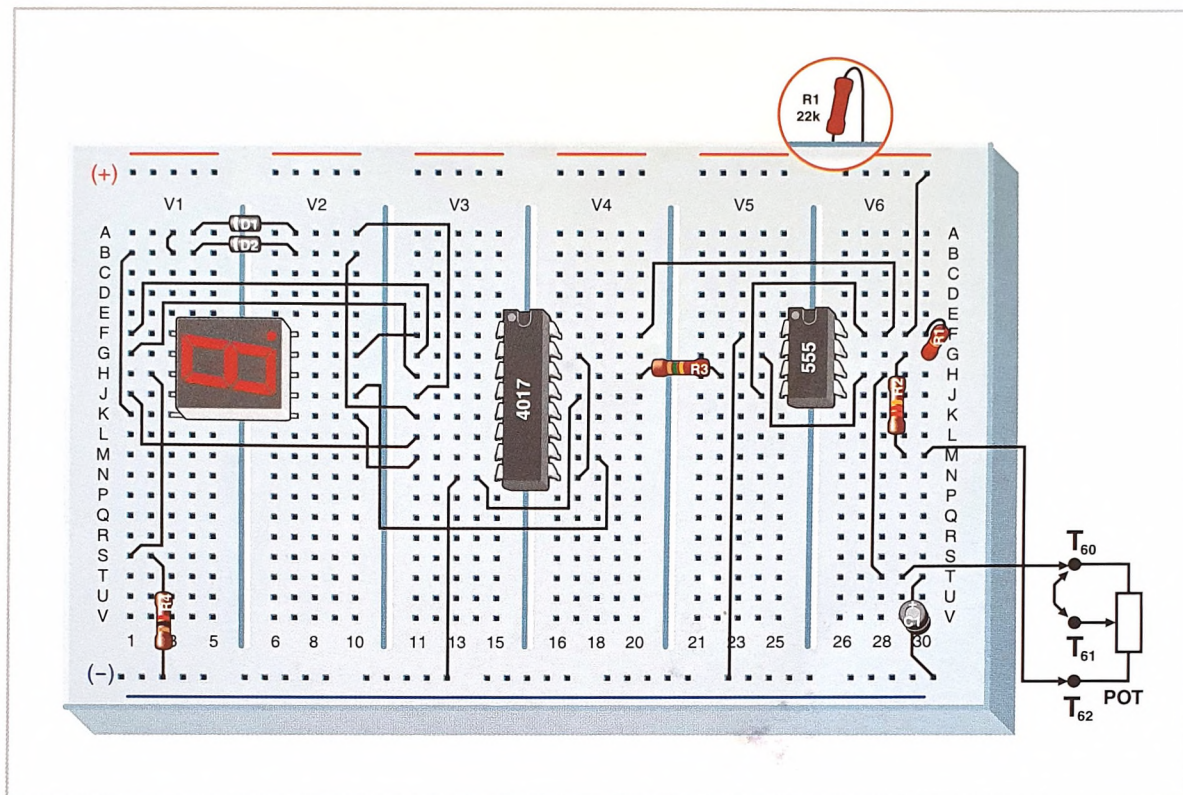
Il circuito con l'alimentazione collegata deve funzionare come abbiamo appena spiegato. Se così non fosse, scollegheremo l'alimentazione e verificheremo tutte le connessioni del circuito, prestando particolare attenzione all'alimentazione dei circuiti integrati.

Il flip-flop R-S cambia automaticamente il verso dello spostamento.

Esperimento

Se la velocità di spostamento è troppo veloce, anche con il potenziometro P1 regolato al suo massimo valore, la possiamo diminuire aumentando il valore della capacità C1, quello della resistenza R1 oppure entrambi i valori insieme.

Segmenti in movimento

I sette LED si illuminano in sequenza in modo da formare un otto.

Il circuito illumina un unico LED per volta e passa due volte attraverso il segmento centrale "g" per disegnare l'otto; si vede, così, che la frequenza è alta. Se si utilizza una bassa frequenza si può facilmente verificare l'illuminazione di ogni segmento.

Funzionamento

Nel circuito controlleremo i diversi segmenti del display, che sono diodi LED, con tutti i punti collegati a un punto comune. Per illuminare un segmento gli si deve applicare una tensione al corrispondente anodo, mediante la resistenza limitatrice; dato che in questo caso, però, si illumina solamente un LED per volta, la resistenza R4 può venire collocata nel circuito del catodo. Il circuito di controllo, che in questo montaggio è un 4017, ha le uscite attive a livello alto. Vengono utilizzate uscite consecutive del 4017 in maniera tale che il LED illuminato percorra il display disegnando un otto. Il clock di cui ci si avvale è un astabile con un 555; ne possiamo variare la frequenza azionando il comando del potenziometro da 50 K: riusciamo, così, ad avere una visualizzazione del movimento più lenta o più veloce.

Se la frequenza è alta, leggiamo un "otto"

Il circuito

Il clock è un oscillatore astabile con un 555. Per variarne la frequenza, si utilizza il potenziometro da 50 K del laboratorio, che ci permetterà di ottenere una gamma di frequenze – che va da circa 3 Hz a 10 Hz – sufficiente ad avere un buon effetto ottico. L'uscita dell'oscillatore è stata collegata direttamente all'entrata del clock del 4017, che è stato configurato per contare otto impulsi (da Q0 a Q7) e per resettarsi al nono impulso (Q8). Sebbene il display abbia sette segmenti, se osserviamo lo schema, vediamo che nell'integrato sono state utilizzate 8 uscite. Lo abbiamo fatto perché il segmento "g" si accende grazie a due uscite diverse e isolate – Q2 e Q6 – e, perché il livello dell'una non interferisca con quello dell'altra, abbia-

Segmenti in movimento

COMPONENTI	
R1, R2	22 K
R3	15 K
R4	1 K
C1	2,2 µF
D1, D2	1N4148
U1	555
U2	4017
POT	
DISPLAY	

mo interposto in ognuna di esse un diodo – ci stiamo riferendo ai diodi D1 e D2. In realtà, quello che abbiamo fatto è una porta OR con diodi, perché il segmento si accende quando una delle due uscite è a livello logico alto. Dato che tutti i catodi dei LED sono uniti tra loro e collegati al terminale M del display (che è duplicato), tra il terminale comune a tutti i catodi e il negativo dell'alimentazione, viene utilizzata una resistenza limitatrice unica.

Circuito utilizzato per ottenere un movimento che formi un "otto".

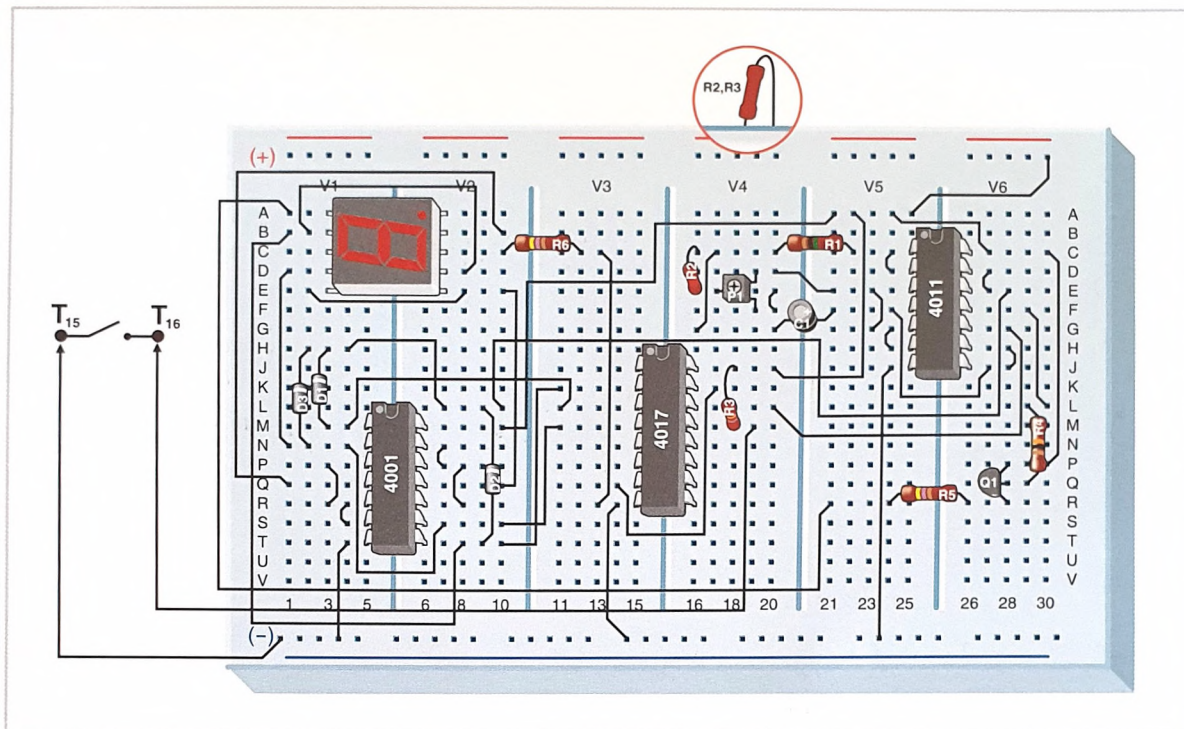
Esperimento 1

Abbiamo intenzione di variare la sequenza di accensione dei segmenti del display. A tale fine, collegheremo: Q0-a, Q1-b, Q2-g (attraverso un diodo), Q3-f, Q4-e, Q5-d, Q6-c, Q7-g (attraverso un diodo). Lasceremo collegata al terminale comune e alla massa la resistenza R4. Dobbiamo ricordarci che, se vogliamo collegare diverse uscite al medesimo segmento, a ciascuna uscita dovremo aggiungere un diodo.

Esperimento 2

Un altro esercizio può essere quello di variare la frequenza dell'oscillatore con il 555. Per aumentare la frequenza, possiamo variare R1, R2 o C1, diminuendo il valore di uno per volta oppure di tutti insieme. Se, invece, vogliamo diminuire la frequenza, dovremo aumentare questi valori.

Schedina digitale

Questo circuito presenta gli stessi simboli (1, 2, X) della schedina.

Il circuito consente di ottenere direttamente i segni della schedina azionando semplicemente un pulsante. Premendo il pulsante, appaiono ciclicamente e a una elevata velocità l'1, la X e il 2; in tal modo non possiamo predire cosa uscirà sul display. Lasciando libero il pulsante, rimarrà rappresentato uno dei tre segni: non ci resterà che copiarlo su un foglietto. Perché il risultato sia imprevedibile, l'oscillatore deve avere una frequenza elevata.

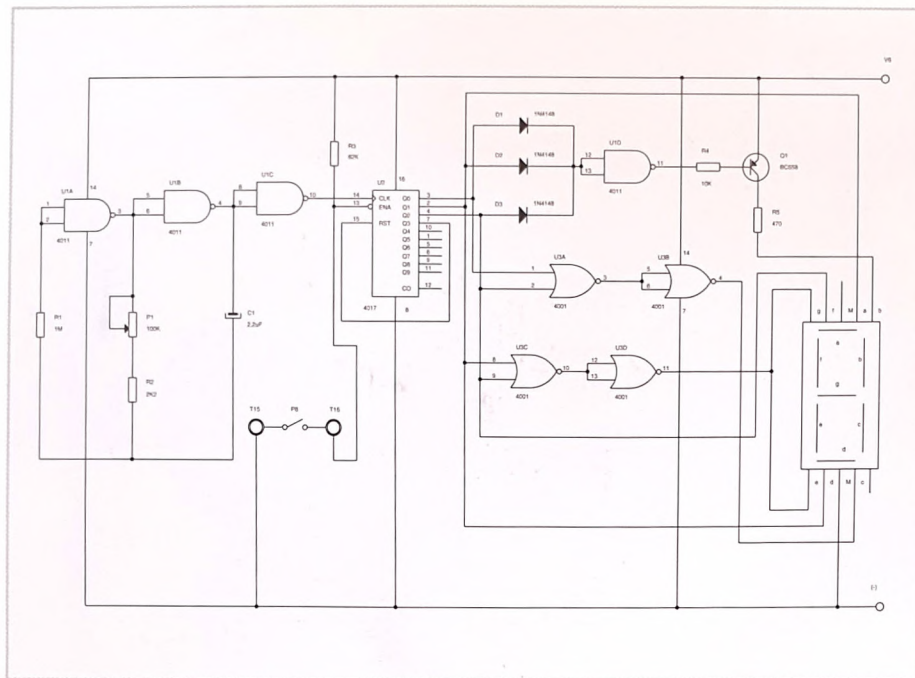
Il circuito

Il circuito necessita che il clock invii un segnale molto veloce. Riusciamo ad avere questa condizione grazie a un oscillatore con porte NAND la cui frequenza di uscita possa variare da circa 10 Hz a qualcosa meno di 1 Hz. Per regolare la velocità dell'oscillatore tra i margini specificati, utilizziamo il potenziometro P1. L'uscita dell'oscillatore viene direttamente collegata all'entrata del clock del 4017, integrato che è stato configurato per contare solamente tre impulsi e, quindi, ricominciare il ciclo. A questo scopo, si utilizzano le tre uscite Q0, Q1 e Q2, mentre l'uscita Q3 resetta il contatore e lo fa ricominciare nuovamente da Q0. Quest'ultima attiva i segmenti che rappresenteranno l'1, mentre Q1 quelli che rappresenteranno la X e Q2 quelli che rappresenteranno il 2. Nella tavola possiamo vedere quali siano i segmenti che, illuminati, formeranno le suddette cifre. Le porte OR – di cui alcune sono costituite da porte NOR, mentre la rimanente dalle tre entrate con diodi – vengono usate per illuminare ogni segmento. Il transistor di uscita dà maggior corrente ai LED che a loro volta la erogano alla porta U1D. A ogni entrata viene applicata l'uscita del 4017 che le attiva a livello alto. Così, per esempio, il segmento 'c' si dovrà illuminare sia per l'1 che per il 2; per questo per l'entrata della porta U3C abbiamo scelto le uscite Q0 e Q2.

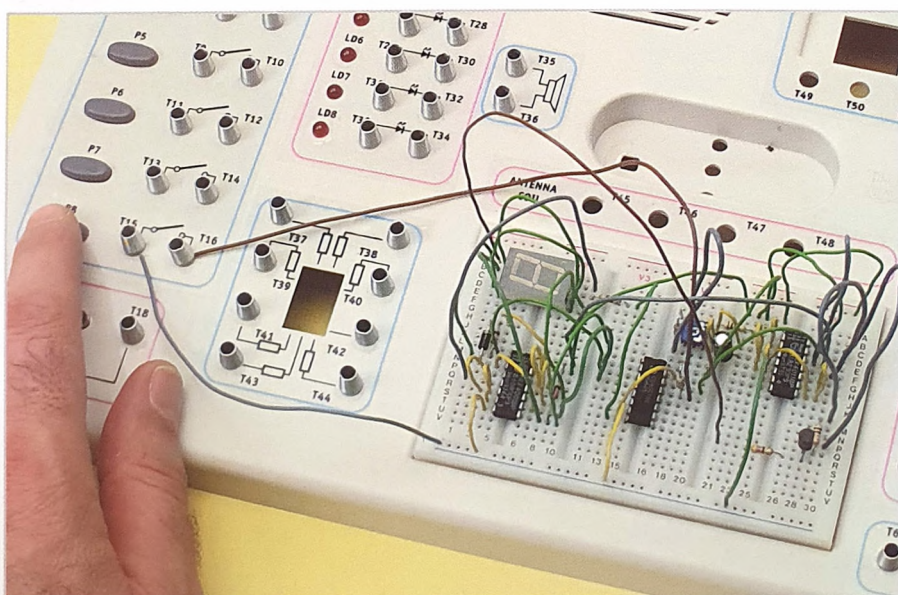
La X sarà sostituita da una H

Funzionamento

Ad alimentazione collegata, il circuito non funzionerà e sul display sarà rappresentato uno dei tre segni della schedina. Azionando il pulsante, abiliteremo il 4017 ponendo ad alto li-

Schedina digitale

COMPONENTI	
R1	1M
R2	2K2
R3	82 K
R4	10 K
R5	470 Ω
P1	100 K
C1	2,2 µF
Q1	BC558
D1, D2, D3	1N4148
U1	4011
U2	4017
U3	4001
DISPLAY	
P8	

vello l'entrata /ENA e, quindi, le uscite, una dopo l'altra, inizieranno ad attivarsi continuamente e a una velocità che dipenderà dall'oscillatore. Se la velocità è quella massima, vedremo che il display varia velocemente e non sapremo quale sarà il segno rappresentato. Se si vuole vedere il cambiamento da un segno all'altro, si regolerà il potenziometro al suo massimo valore e il contatore, di conseguenza, cambierà lentamente lo stato del display.

Quando si smette di azionare il pulsante, il display si fermerà su uno dei tre segni: avremo così ottenuto un nuovo segno per la nostra schedina.

Il circuito, finché non premeremo P1, non funzionerà.

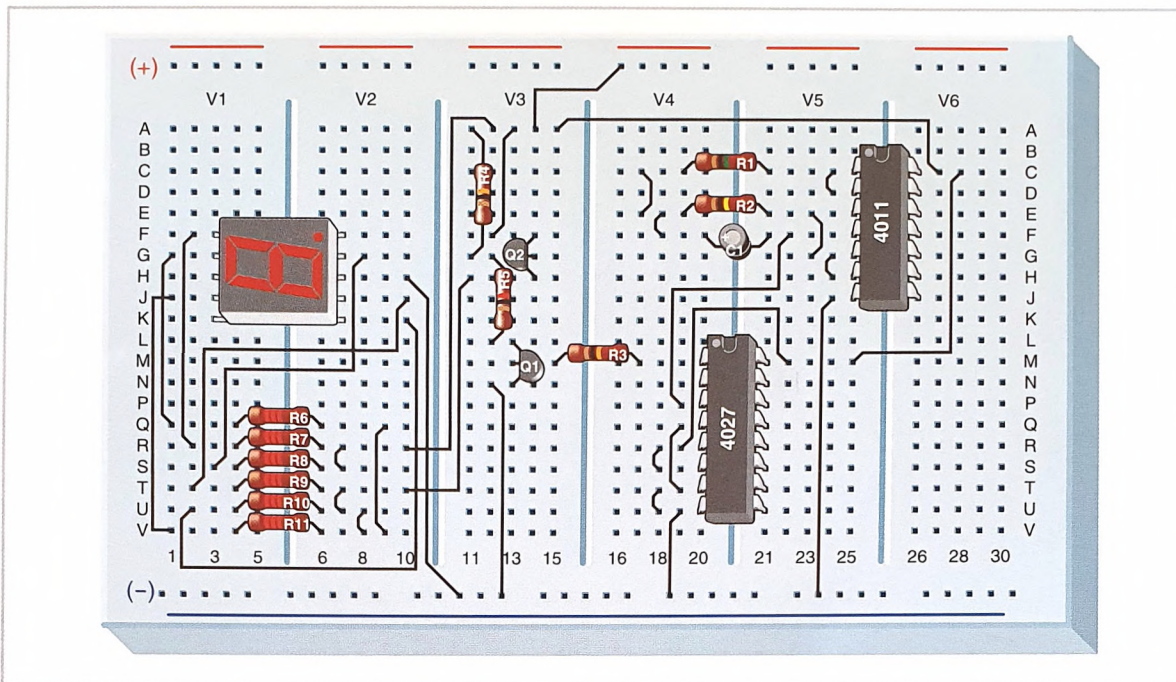
Sperimentiamo il circuito

Una volta verificato che il circuito funziona, raccomandiamo di aumentare la frequenza del clock; a tale scopo, dovremo abbassare la capacità del condensatore C1.

ACCENSIONE DEI SEGMENTI DEL DISPLAY

USCITA	SIMBOLO	a	b	c	d	e	f	g
Q0	1	0	1	1	0	0	0	0
Q1	X	0	1	1	0	1	1	1
Q2	2	1	1	0	1	1	0	1

Contatore binario "0" "1"

Sul display appariranno alternativamente lo "0" e l'"1" della notazione binaria.

Questo esperimento corrisponde alla visualizzazione sul display di un contatore binario minimo, di un contatore, cioè, che conti solamente '0' o '1'. Per progettarlo, non utilizziamo nessun circuito integrato contatore specializzato. Utilizziamo, invece, un flip-flop configurato in modalità T per realizzare il conteggio binario che verrà poi visualizzato sul display.

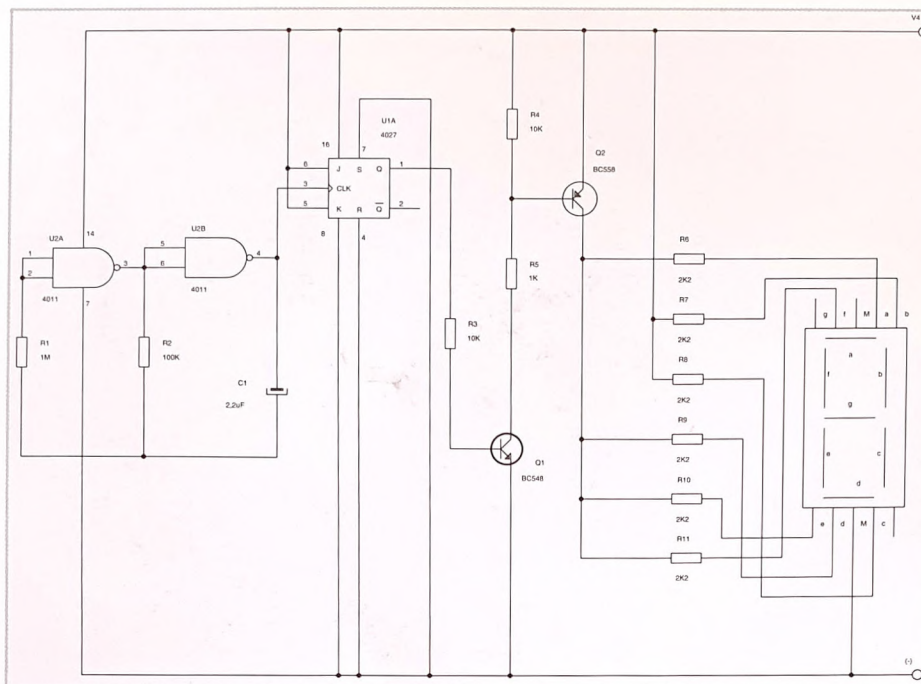
Funzionamento

Quando riceve l'alimentazione, l'oscillatore inizierà a funzionare ad una frequenza lenta per poterci far seguire a occhio il conteggio del contatore. Il segnale di uscita viene applicato al flip-flop T la cui uscita Q, quando è a livello alto, fornisce il pilotaggio al transistor Q1 che, a sua volta, fa entrare in conduzione il transistor Q2, illuminando i segmenti che mancano all'1 per formare lo zero. Dato che il contatore è binario, saranno rappresentate le cifre '0' e '1'; nella rappresentazione di ambedue i numeri entreranno in gioco i segmenti b e c (che corrispondono all'1) i quali rimarranno sempre accesi, mentre il circuito attiverà il resto dei segmenti corrispondenti allo 0, che sono i segmenti d, e ed f.

I segmenti b e c sono fissi

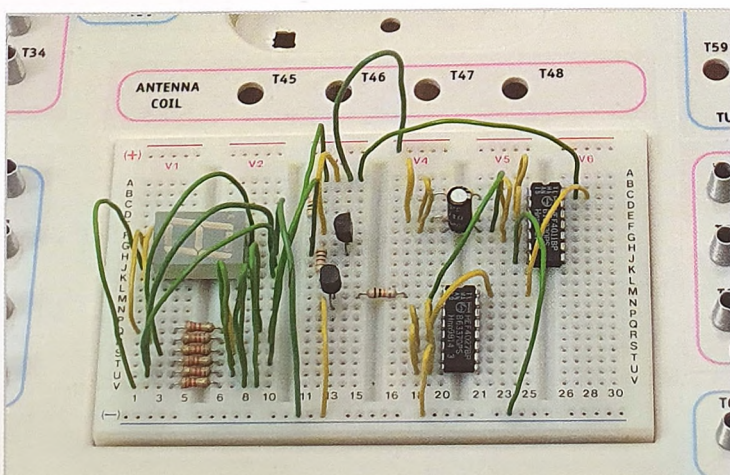
Il circuito

Il circuito può essere suddiviso in due parti ben distinte. Da un lato, abbiamo la parte del contatore propriamente detto e dall'altro la parte del visualizzatore. La parte del contatore consta di un oscillatore realizzato con porte NAND ed ha una frequenza di poco maggiore di 1 Hz che si annette all'entrata del clock del contatore da 1 bit , realizzato con i flip-flop J e K. Questi sono configurati in modalità T cosicché ad ogni impulso del clock, il valore della loro uscita cambia. Le entrate SET e RESET dei suddetti flip-flop (terminali 4 e 7) sono collegate al terminale negativo dell'alimentazione in modo da esserne inibite e, così, da non poter influenzare il funzionamento del circuito. L'uscita del contatore da 1 bit (flip-flop J e K) viene direttamente collegata alla base di un transistor. Quando l'uscita del contatore è uno '0', il transistor Q1 non conduce e non lo fa neanche Q2; di conseguenza i segmenti d, e ed f non si accendono. Invece, quando l'uscita del contatore è '1', i transistor Q1 e Q2 conducono

Contatore binario "0" "1"

COMPONENTI	
R1	1M
R2	100 K
R3, R4	10 K
R5	1K
R6 a R11	2K2
C1	2,2 µF
Q1	BC548
Q2	BC558
U1	4027
U2	4011
DISPLAY	

e i segmenti d, e, f, ed a si illuminano e rimangono illuminati anche i segmenti b e c che erano direttamente collegati all'alimentazione, rispettivamente grazie alle resistenze di polarizzazione R7 e R8.

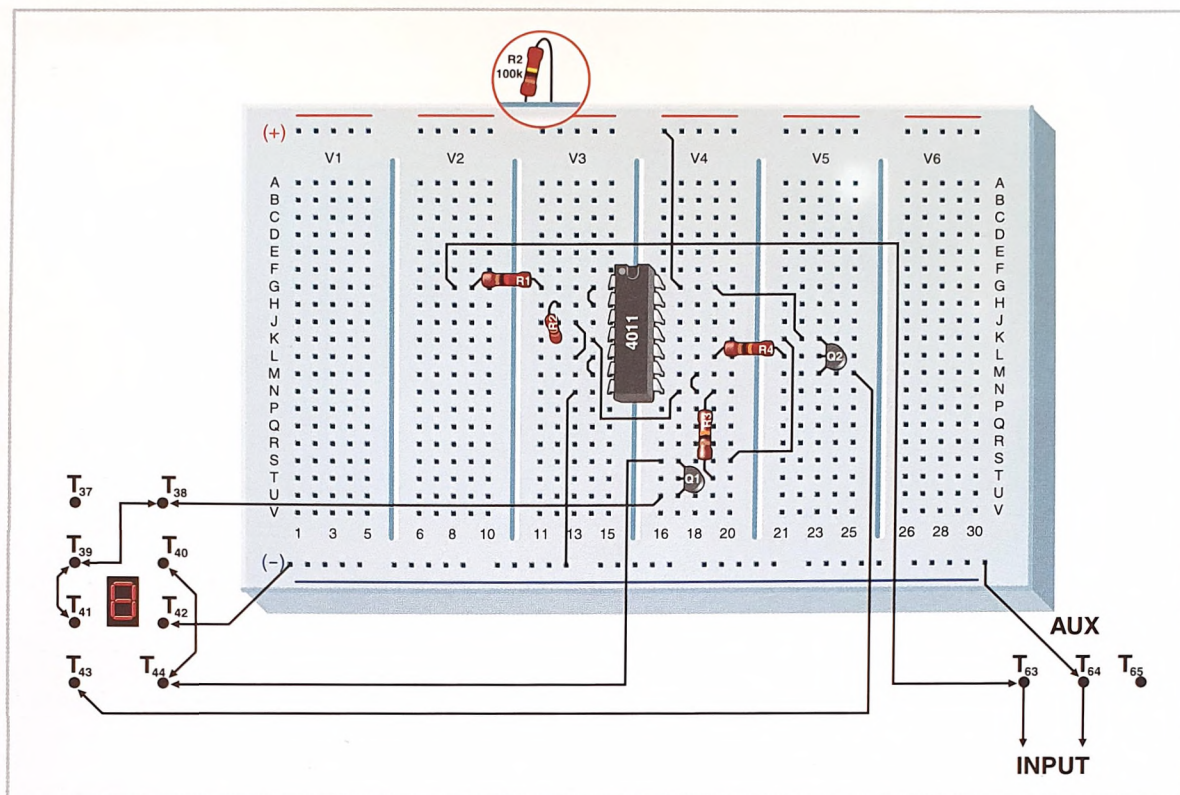
Avviamento

Il circuito deve funzionare semplicemente collegando l'alimentazione; nel caso non succedesse, la prima cosa da fare sarà scollegare l'alimentazione e iniziare a revisionare il lavoro fin qui realizzato. Si verificherà, innanzitutto, che le pile siano inserite e in buono stato; poi, si controlleranno le connessioni, soprattutto quelle dell'alimentazione dei circuiti integrati, e l'inserimento dei transistor. Si deve anche verificare che il terminale comune del display – M – sia collegato al negativo dell'alimentazione.

Il terminale comune del display va sempre collegato al negativo dell'alimentazione.

Sperimentiamo il circuito

Il contatore (flip-flop J e K configurati in T) può conteggiare due differenti valori: quelli rappresentati dallo 0 e dall'1. Cambiamo adesso questi valori con, per esempio, il 2 e l'8. A tale scopo, collegheremo direttamente al positivo dell'alimentazione i segmenti e, a, b, g, e d, mentre al negativo collegheremo i segmenti f e c. Non dovremo dimenticarci che i segmenti vanno sempre collegati mediante delle resistenze per limitare la corrente che vi circola. Potremmo anche configurare due diverse lettere.

Indicatore digitale del livello logico

Nel display viene presentato il livello alto H o il livello basso L.

Il circuito indica direttamente il livello logico di un'uscita digitale. Il livello alto verrà contrassegnato da una 'H', mentre quello basso da una 'L', rispettivamente abbreviazioni dell'inglese 'High', alto e 'Low', basso.

Funzionamento

Una volta collegata l'alimentazione del circuito, apparirà direttamente sul display la lettera 'H'. Il circuito è in stato di riposo e non significa assolutamente niente. Collegando i terminali d'entrata del circuito – T63 e T64 – all'uscita di un circuito logico o digitale, se il suo livello è basso si attiverà la lettera 'L',. se, al contrario, è alto, si attiverà la 'H'. Il circuito si basa sull'attivazione dei transistor che controllano l'illuminazione dei segmenti del display.

Possiamo cambiare le lettere

Il circuito

Una parte del circuito è attiva a livello basso, mentre l'altra lo è a livello alto. Per rilevare i livelli ci avvaliamo delle porte logiche U1A e U1C. In questo modo, se all'entrata c'è un livello basso, all'entrata di U1A e all'entrata di U1B c'è uno '0', per cui si costringe la corrente che circola attraverso la resistenza R2 ad essere pari a '0' e siccome c'è un altro '0' in R3, il transistor Q1 rimane in stato di interdizione. In questo medesimo stato, invece, il transistor Q2 si attiva, perché all'uscita della porta U1C c'è un livello alto. Quando l'entrata è un livello alto, l'uscita di U1B è un livello alto e quindi, attraverso R3, il transistor Q1 si polarizza. Al contrario, all'uscita di U1C c'è un livello basso e ciò interdice immediatamente il transistor Q2. Sul display, come abbiamo detto, apparirà una 'H' per indicare il livello alto e una 'L' per indicare il livello basso. Due sono i segmenti in comune nella rappresentazione di queste due lettere: il segmento 'e' e il segmento 'f'; saranno, quindi, sempre direttamente collegati al positivo, dato che saranno sempre illuminati, indipendentemente dal livello. Per il livello basso, il transistor attivo, che deve attivare i segmenti b, c e g, è Q1.

Indicatore digitale del livello logico

COMPONENTI	
R1	1 K
R2	100 K
R3, R4	10 K
Q1, Q2	BC558
U1	4011
DISPLAY	

Avviamento

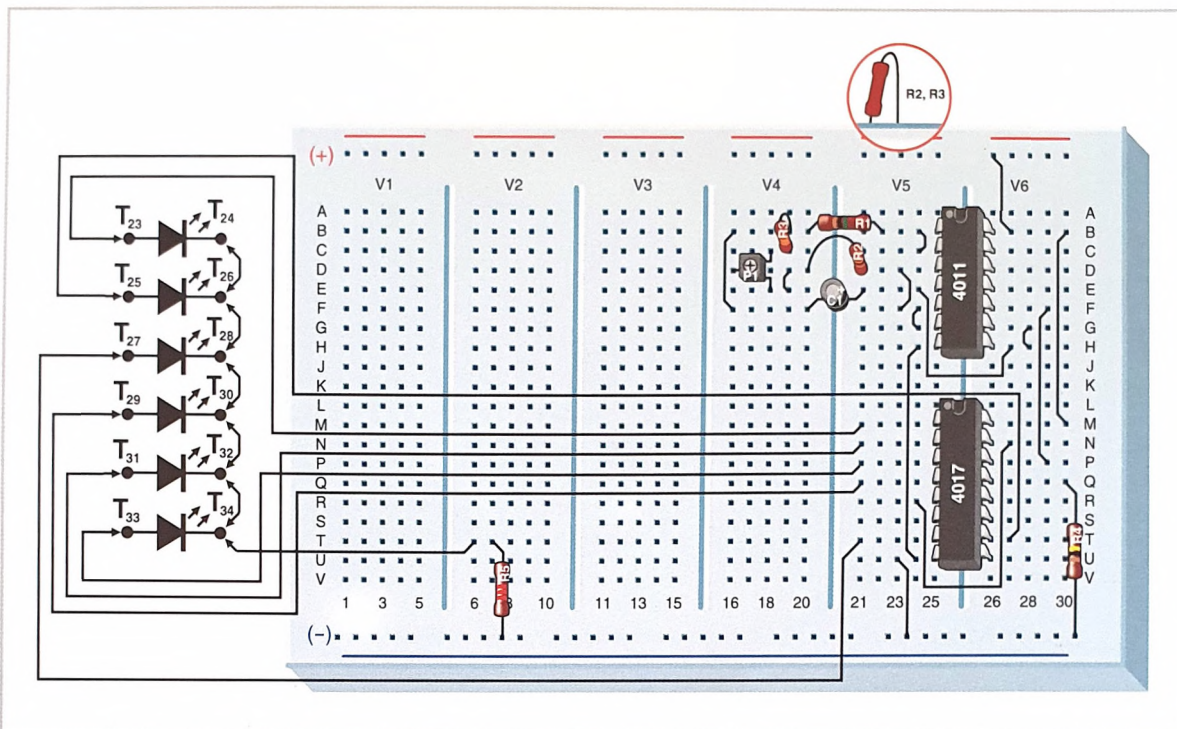
Per provare il circuito, dopo aver collegato l'alimentazione, deve apparire la lettera 'H'; in seguito, uniremo direttamente i terminali T63 e T64 in modo che appaia una 'I', indicando il basso livello d'entrata. Collegheremo, poi, direttamente al positivo dell'alimentazione il terminale T63 così da verificare se sul display appare una 'H'. Se il montaggio dovesse funzionare male, o non funzionare del tutto, ripasseremo tutte le connessioni, procurando di prestare particolare attenzione ai transistor e all'alimentazione del circuito integrato. Oltre a collegare il terminale A al punto del circuito di cui si vuole conoscere il livello logico, si deve unire al negativo dell'alimentazione il terminale B. Non dobbiamo scordarci la connessione del terminale comune del modulo del display. Forse qualche lettore si meraviglia non vedendo nello schema le resistenze del modulo del display; non sono raffigurate perché il display è stato rappresentato come modulo, e le resistenze sono al suo interno.

Con i terminali A e B liberi, sul display appare una 'H'.

Iniziamo le sperimentazioni

È importantissimo che l'alimentazione di questo circuito sperimentale sia la medesima del circuito di cui misureremo i livelli '0' e '1'. A tal fine, sarebbe interessante realizzare la prova con diverse alimentazioni per poter così verificare che tutto funzioni correttamente.

Contatore dei passaggi

Il contatore avanza di un passo ogni 10 secondi.

Questo circuito cambia illuminazione da un LED all'altro ogni 10 secondi, arriva alla fine e ricomincia; possiamo utilizzarlo per risparmiare denaro al telefono, dato che è un modo per prendere coscienza del tempo che stiamo passando al telefono. Ogni LED indica che sono trascorsi dieci secondi: quando tutti e sei i LED sono accesi, allora significa che è passato esattamente un minuto.

Funzionamento

Il funzionamento del circuito è abbastanza semplice, anche se dobbiamo regolare un poco il segnale del clock impiegato. L'oscillatore viene regolato su un periodo di dieci secondi. Il segnale si applica al 4017, che agisce come divisore di frequenza, cosicché una delle sue uscite si attiva durante il periodo di 10 secondi; il LED collegato all'uscita Q0 rimane acceso per i primi 10 secondi del minuto, il LED Q1, durante il secondo periodo di dieci secondi e così via fino a Q6 che rimarrà acceso dal cinquantesimo fino al sessantesimo secondo. Quando il contatore finisce il conteggio, l'uscita Q0 si attiva e il diodo LED LD8 si illumina: il contatore ricomincia a contare.

Ogni LED indica che sono passati 10 secondi

Il circuito

Il circuito è composto da due parti: l'oscillatore e il contatore ad anello. L'oscillatore potrebbe essere calcolato teoricamente e sempre teoricamente si potrebbero calcolare i componenti, ma a causa della loro tolleranza, la frequenza d'uscita potrebbe anche non essere quella calcolata. Perciò è sempre consigliabile l'utilizzo di un piccolo potenziometro per poter mettere a punto l'esatta regolazione del tempo. Il segnale di uscita dell'oscillatore viene applicato al 4017 per mezzo di una porta montata come invertente per poter così eliminare la possibile carica che si potrebbe applicare all'oscillatore con la conseguente variazione di frequenza del segnale di uscita. Il 4017 è montato in una configurazione di funzionamento normale, ma conta solamente fino a sei. Perciò, la settima uscita, corrispondente a Q6, viene impiegata per "resettare" il contatore e il conteggio inizia nuovamente.

Contatore dei passaggi

COMPONENTI	
R1	1 M
R2	10 K
R3	33 K
R4	100 K
R5	2K2
P1	5 K
C1	100 µF
U1	4011
U2	4017
LD3 aLD8	

Regolazione dell'oscillatore

Il primo passaggio da compiere, una volta montato l'oscillatore, è quello di regolarne la frequenza. Dovremo disporre di un cronometro per contare il tempo in cui un LED rimane acceso. Variando P1, possiamo fare sì che rimanga acceso per circa 10 secondi con una buona precisione. Se non riuscissimo a regolare il tempo con il potenziometro all'interno dell'eventuale variazione, dovremo cambiare il valore della resistenza R2, aumentandola per aumentare il tempo, o diminuendola per diminuirlo; dopo aver effettuato questa sostituzione, tenteremo nuovamente di fare la regolazione. Possiamo anche sostituire il potenziometro da 5 K con un altro da 500 K e ottenere, così, un margine di regolazione più ampio.

Avviamento

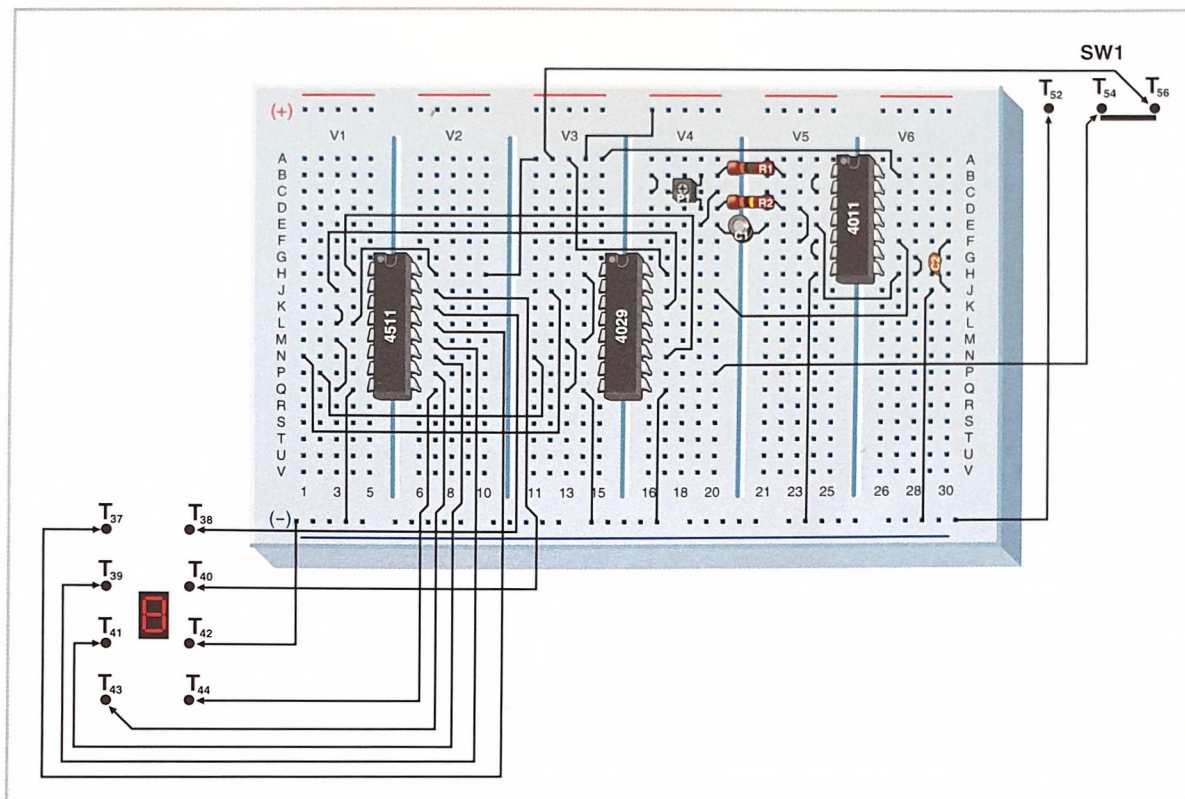
Il circuito deve funzionare quando si collega l'alimentazione, ma bisogna procedere subito alla regolazione perché i tempi siano corretti. Un cattivo funzionamento del circuito potrebbe essere causato da una errata connessione del 4017; è importantissimo che il suo terminale 13 sia unito al negativo dell'alimentazione. Dovremo, inoltre, verificare l'alimentazione degli integrati e il collocamento dei LED e del condensatore C1.

Il salto tra passo e passo può essere regolato.

Sperimentiamo il circuito

Il montaggio è stato calcolato per un conteggio della durata di alcuni minuti, ma possiamo cambiare i valori dei componenti dell'oscillatore R2, R3 e C1 e far sì che ogni diodo si illumini durante 30 secondi; la cosa più semplice è aumentare il valore delle resistenze R2 e R3. In questo modo con gli otto LED e aggiungendone altri due, possiamo contare fino a quattro minuti.

Contatore ascendente e discendente con display

Rappresentiamo su un display l'uscita di un contatore.

Il circuito è un contatore completo con presentazione decimale dallo 0 al 9. Le uscite del contatore ascendente/discendente sono collegate direttamente alle entrate del decodificatore a 7 segmenti. Il modulo display è collegato all'uscita del circuito integrato 4511.

Il circuito

Il circuito ha due parti ben differenziate: quella del contatore e quella della rappresentazione in sistema decimale.

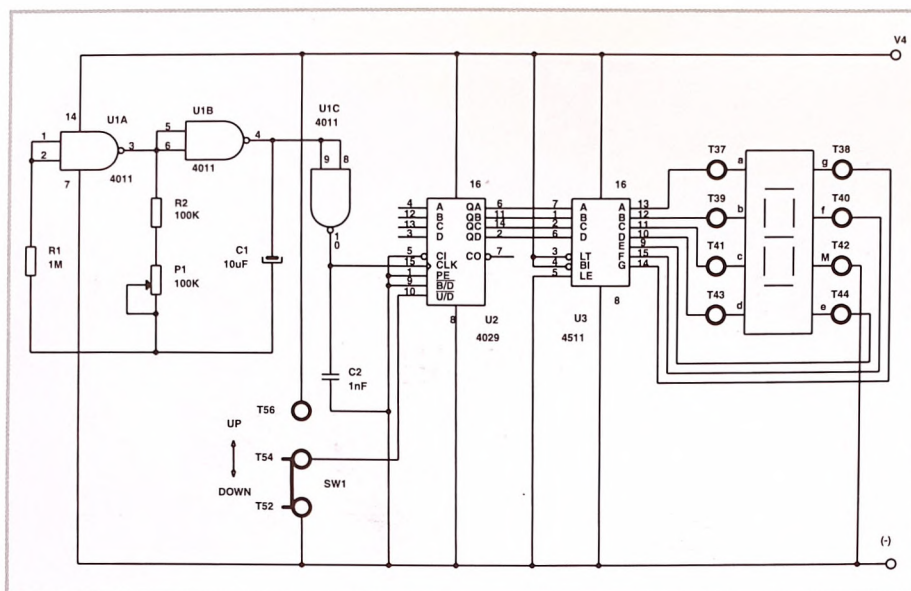
L'oscillatore che genera il clock è formato da porte NAND. Il potenziometro P1 è utilizzato per variare la frequenza del segnale del clock mentre la porta U1C lo inverte. In questo circuito, è indifferente che il segnale del clock sia invertito o meno, ma perché non influenzi il funzionamento dell'oscillatore viene isolato mediante la summenzionata porta. All'entrata del clock del contatore viene collegato il condensatore C2, che ha un bassissimo valore per evitare interferenze sotto forma di picchi di tensione che possano essere interpretati dal contatore come impulsi del clock. Il contatore SW1 seleziona il verso di avanzamento del conteggio, in modalità ascendente (UP) o discendente (DOWN), per cui è direttamente collegato all'entrata U/D introducendo un livello alto o basso. Le quattro uscite del contatore sono collegate direttamente alle entrate del decodificatore 4511. Le sue entrate di controllo (/LT; /BI e LE) sono inabilitate, di modo che l'integrato rappresenta direttamente i numeri. Le uscite dell'integrato sono collegate al modulo display del laboratorio per rappresentare i numeri decimali per mezzo dell'illuminazione dei corrispondenti segmenti.

Funzionamento

Quando avviamo il circuito, una volta collegata l'alimentazione da 6 Volt (V4), sul display deve apparire un numero che corrisponde all'uscita del contatore.

Il conteggio sarà in modalità ascendente se il commutatore è nella posizione UP. I numeri rappresentati andranno dallo 0 al 9, per

Conta dallo 0 al 9

Contatore ascendente e discendente con display

COMPONENTI	
R1	1K
R2	100 K
P1	100 K
C1	10 µF
C2	1 nF
U1	4011
U2	4029
U3	4511
DISPLAY	
SW1	

passare nuovamente allo 0 e iniziare ancora il conteggio, perché i numeri sono rappresentati nel sistema BCD.

Il conteggio, invece, sarà in modalità discendente se il commutatore è in posizione DOWN. In questo caso, il conteggio avverrà dal 9 allo 0, per poi passare nuovamente al conteggio dal 9 allo 0. La velocità con la quale i numeri cambiano viene determinata dal valore della resistenza regolato grazie al potenziometro P1.

Avviamento

Tra tutti i componenti del montaggio, solamente il condensatore C1 ha la polarità, per cui dovremo fare attenzione alla sua connessione. Per gli altri elementi, dovremo fare attenzione all'orientamento dei circuiti integrati, concentrandoci sul segno che identifica il terminale 1 di ciascuno di essi. Il modulo display ha un terminale comune, T42, che, per far funzionare il circuito, dovremo collegare al negativo dell'alimentazione.

Il commutatore SW1 seleziona la modalità ascendente o discendente del conteggio.

Esperimento

È interessante collegare il contatore in binario puro, ponendo a livello alto il terminale 9 del 4029, per verificare cosa appaia sul display quando applichiamo alla sua entrata i codici binari dal 10 al 15, cosa per la quale il funzionamento del 4511 non è stato previsto.

Collegando il terminale 3 del 4511 al negativo dell'alimentazione, possiamo osservare anche se le connessioni del display sono corrette.

Timer programmabile

Il montaggio diminuirà i minuti da un valore programmato.

Questo è il circuito base di una lancetta programmabile che miglioreremo nei successivi esperimenti e che consente di realizzare una programmazione all'interno di un margine da 1 a 9 minuti. Il montaggio cerca di mostrare come si potrebbe progettare un timer che ci avvisi quando sia trascorso il tempo previsto.

Il circuito

Il circuito è costituito da tre parti: il generatore del clock, il contatore e il sistema di rappresentazione su display. Il generatore del clock è la parte più importante e consta dell'oscillatore con due porte NAND, U1A e U1B. L'oscillatore viene regolato a una frequenza di 10 secondi mediante il potenziometro P1, che possiede un margine di regolazione che va, approssimativamente, dagli 8 ai 16 secondi. Una volta regolato il periodo del clock a 10 secondi, lo applichiamo all'entrata del 4017. Per ottenere un segnale con un periodo di 1 minuto dobbiamo contare fino a 6 per avere 60 secondi; lo facciamo direttamente utilizzando l'uscita Q6 di quest'ultimo integrato. All'ingresso del contatore esistono due segnali di clock: uno con un periodo di 10 secondi e l'altro con un periodo di 60 secondi. Perché l'uno non influenzi l'altro, li isoliamo con due diodi: D1 e D2. Il primo verrà attivato azionando P8 nel contatore per programmare più rapidamente i minuti voluti. Il contatore è stato configurato per lavorare in modalità discendente e in BCD, per cui la sua uscita avrà una gamma da 0 a 9. Il decodificatore a 7 segmenti lavora direttamente con le uscite QA, QB, QC e QD del 4511, le cui uscite realizzeranno sul display la rappresentazione del codice binario.

Quando arriva a zero, ricomincia a contare dalla cifra preimpostata

Regolazione dell'oscillatore

Il primo passaggio, una volta che sia stato montato l'oscilla-

Timer programmabile

COMPONENTI	
R1	1M
R2	10 K
R3	33 K
R4	100 K
P1	5 K
C1	100 µF
C2	100 nF
C3	47 µF
D1, D2	1N4148
U1	4011
U2	4017
U3	4511
U4	4017
DISPLAY	
P8	

tore, è regolarne la frequenza. Per far ciò, avremo bisogno di un cronometro, che metteremo in moto semplicemente premendo P8. Dobbiamo cronometrare quanto dura ogni scatto e regolare P1 fino a far coincidere ogni cambiamento di cifra con il trascorrere di 10 secondi. Dobbiamo tenere conto del fatto che se aumentiamo P1, aumenta anche il periodo e se diminuiamo P1, diminuisce anche il periodo.

L'oscillatore è stato regolato su un periodo di 10 secondi.

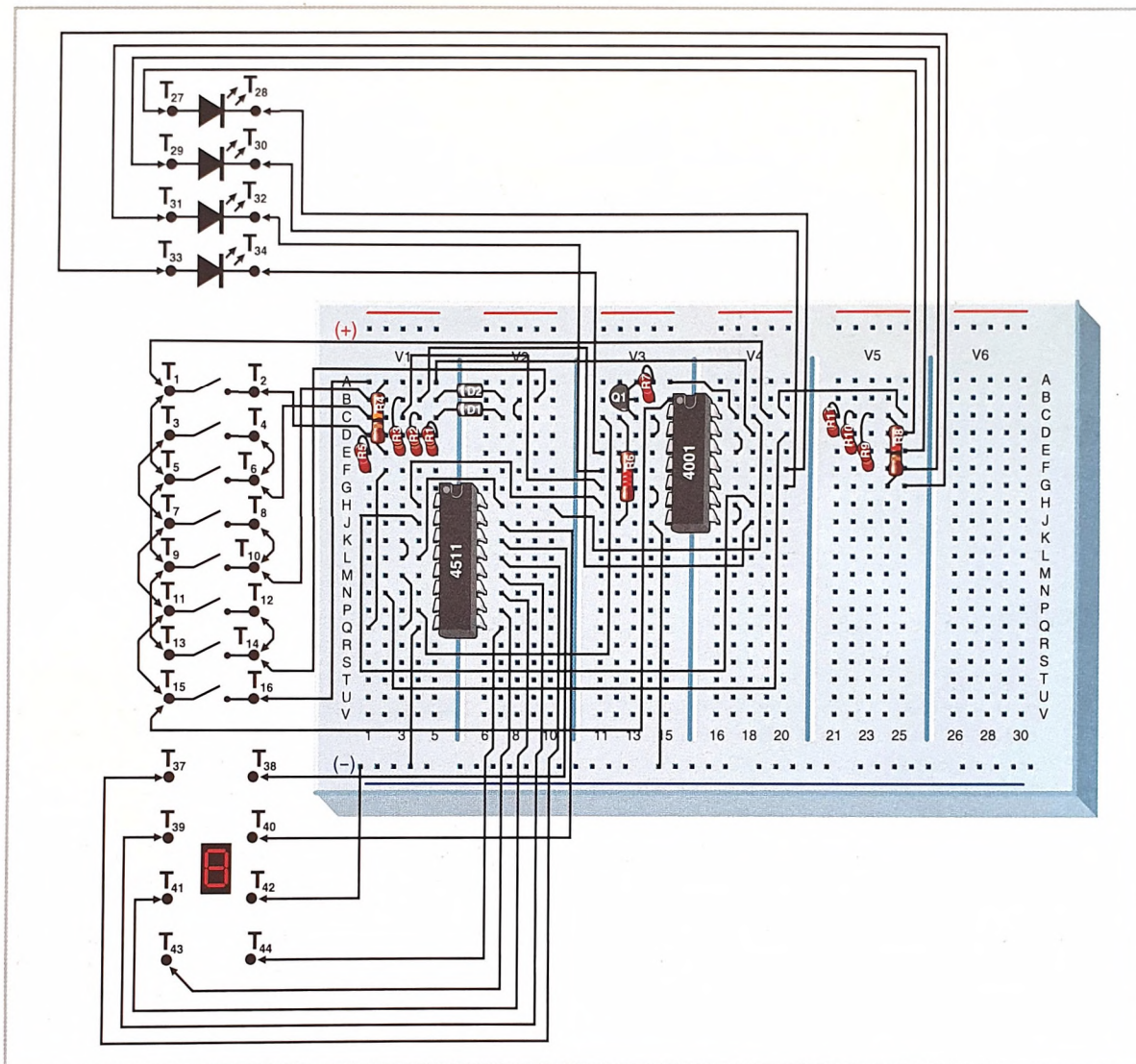
Funzionamento

Una volta collegata l'alimentazione, il circuito deve funzionare. Se è stata effettuata la regolazione, si comporterà come un normale contatore discendente, con l'eccezione che conteggia ogni minuto. Per programmarlo si preme P8 e si vedranno sul display i minuti voluti. Una volta eseguita la regolazione, si deve verificare che conteggi, in modalità discendente, ogni minuto. Quando arriva a zero, inizia nuovamente il conteggio discendente da nove e, quindi, dobbiamo dare un altro valore fisso affinché il programmatore funzioni.

Avviamento

Nel caso una delle parti di cui il circuito è composto non funzioni, si deve verificare, come sempre, l'alimentazione di ogni componente del circuito integrato, dei condensatori C1 e C3 e la polarità dei diodi D1 e D2. È importante che le entrate di controllo di U2 e U3 abbiano i livelli giusti, altrimenti il montaggio non funziona.

Codificatore da decimale a binario

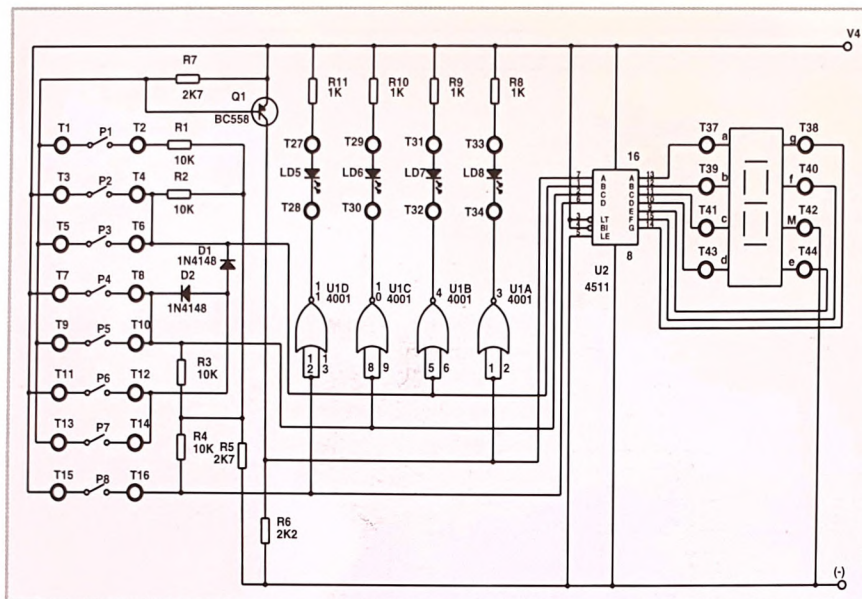
L'entrata decimale attivata viene rappresentata, mediante quattro diodi LED, in binario.

Il circuito è chiamato decodificatore da decimale a binario: emette all'uscita il codice binario corrispondente all'entrata decimale, attivata, a sua volta, dal corrispondente pulsante. Oltre a mostrare con i LED il codice binario, sul display viene rappresentato direttamente in sistema decimale.

Il funzionamento

Questo tipo di circuito si utilizza per leggere alcuni dei modelli di tastiera, di modo che si ottiene direttamente il codice binario corrispondente al tasto premuto. Il lavoro di questi dispositivi è così notevolmente facilitato. In questo caso utilizziamo come tastiera gli otto pulsanti del laboratorio.

Nel circuito esistono due tipi di rappresentazione. Da un lato i diodi LED LD4 - LD7 rappresentano direttamente in binario l'uscita del codificatore. Avendo a disposizione otto pulsanti, disporremo all'uscita dei codici che vanno da 0000 a 1000. Il modulo display viene impiegato per verificare la rappresentazione: infatti il codice ottenuto viene applicato direttamente all'entrata del 4511.

Il display indicherà l'entrata attiva

Codificatore da decimale a binario

COMPONENTI	
R1,R2, R3, R4	10 K
R5, R7	2K7
R6	2K2
R8, R9, R10, R11	1 K
Q1	BC548
D1, D2	1N4148
U1	4001
U2	4511
LD4 a LD7	
P1 a P8	
DISPLAY	

Il circuito

Il circuito è composto da tre parti. La prima e più importante è proprio il codificatore formato, oltre agli otto pulsanti, da diodi, resistenze e dal transistor Q1. Osservando lo schema, possiamo vedere che il transistor serve per attivare il bit di minor peso (corrispondente all'entrata A e LD8) e perciò è collegato ai tasti: P1 (D = 0, C = 0, B = 0, A = 1), P3 (D = 0, C = 0, B = 1, A = 1), P5 (D = 0, C = 1, B = 0, A = 1) e P7 (D = 0, C = 1, B = 1, A = 1). In stato di riposo, nel collettore del transistor c'è un livello basso '0' e quando uno qualsiasi di questi pulsanti viene azionato passa a livello alto. Il bit B si attiverà quando si preme P2 (D = 0, C = 0, B = 1, A = 0), P3 (D = 0, C = 0, B = 1, A = 1) e P6 (D = 0, C = 1, B = 1, A = 0). Il bit C si attiverà quando verrà premuto P4 (D = 0, C = 1, B = 0, A = 0), P6 (D = 0, C = 1, B = 1, A = 0) e P7 (D = 0, C = 1, B = 0, A = 0) e da qui lo si collegherà direttamente.

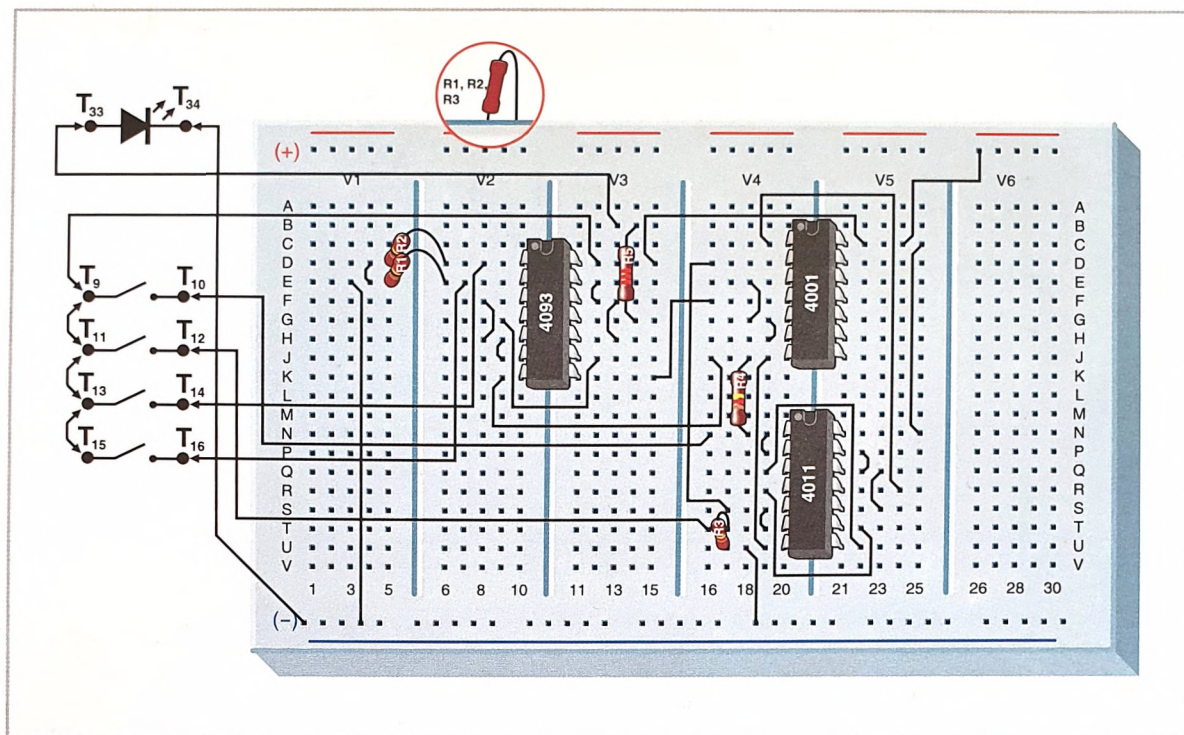
La seconda e terza parte corrispondono alla rappresentazione dei codici. Nei LED apparirà il corrispondente codice binario. Le uscite sono invertite perché i diodi sono collegati al positivo dell'alimentazione e devono essere attivati da un basso livello.

I quattro LED rappresentano il codice in binario: lo si verifica sul display.

Avviamento

È importante collegare correttamente l'alimentazione dei circuiti integrati e i terminali di controllo LT, BI e LE. Ci si deve assicurare anche che il terminale comune del display sia collegato al negativo dell'alimentazione.

Circuito combinatorio (I)

Controllo logico per l'avviamento di un'autovettura.

Il circuito è un'applicazione che potrebbe essere reale; essa deve soddisfare una serie di condizioni relative al conduttore, al passeggero e alle loro cinture di sicurezza perché il veicolo possa mettersi in marcia. Vedremo come, a partire dalle condizioni imposte, riusciremo a ottenere l'equazione logica dalla quale passeremo direttamente al circuito logico.

Il problema

Realizzeremo il circuito dal punto di vista del progettuale. Supponiamo di avere un'autovettura che parte solo quando le cinture del guidatore e del passeggero siano allacciate. Se non dovesse esserci un passeggero, lo stato della sua cintura non dovrebbe impedire che la vettura si avvii, se non dovesse esserci un passeggero, cioè, dovrebbe essere indifferente che la sua cintura sia allacciata o meno. Perché l'automobile parta, inoltre, è necessario girare la chiave di avviamento. Pertanto, solo se tutte queste condizioni si compiono, potremo avviare il motore del veicolo.

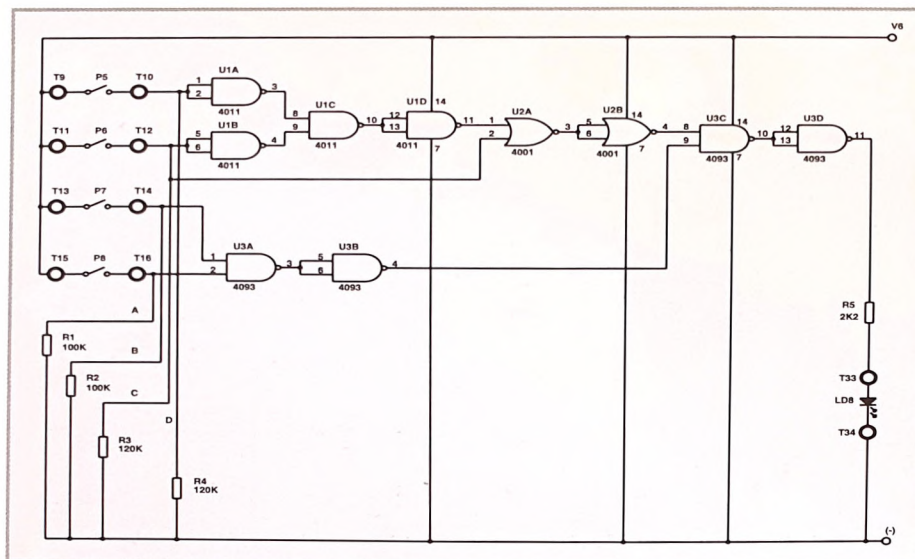
Ogni variabile verrà rappresentata da un pulsante

Progetto

Analizziamo le variabili del nostro sistema. Innanzitutto, è chiaro che la chiave serve ad attuare il contatto per poter avviare il motore, e ciò costituisce la variabile (A): chiave di accensione. Il guidatore, per poter avviare il motore deve avere la cintura allacciata, che sarebbe la variabile (B): cintura del guidatore. Adesso dobbiamo considerare il caso in cui ci sia un passeggero: se c'è, dovrebbe allacciarsi la cintura, mentre se non c'è, la cintura può rimanere inutilizzata. Abbiamo, quindi, altre due variabili: (C), cintura del passeggero e (D), passeggero. Adesso siamo nella condizione di poter realizzare la tavola delle verità: metteremo un '1' quando la variabile si compie e uno '0' quando non si verifica.

Raggiungimento dell'equazione

Per questo argomento conviene consultare il capitolo teorico "Logica combinatoria": adesso otterremo direttamente l'equazione di uscita in mintermini, perciò, una delle tre uscite sarà prodotto delle variabili. In seguito considereremo un

Circuito combinatorio (I)

COMPONENTI	
R1, R2	100 K
R3, R4	120 K
R5	2K2
U1	4011
U2	4001
U3	4093
LD8	
P5 a P8	

fattore comune alle variabili A, B e C tra il primo fattore e l'ultimo. Poi, considereremo un fattore comune alle variabili A e B ottenendo l'equazione risultante, di cui possiamo vedere l'espressione in basso nello schema elettrico.

Il circuito

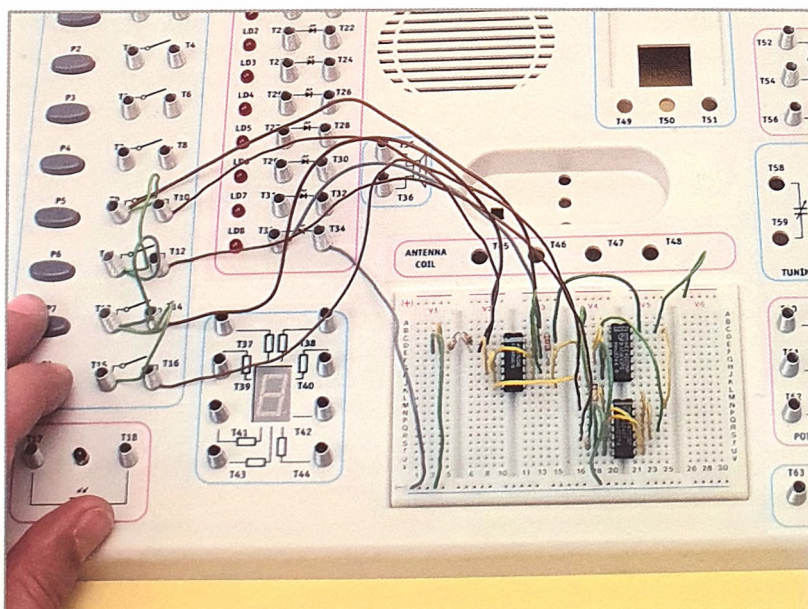
La realizzazione del circuito passa obbligatoriamente per l'implemento mediante le porte AND dei prodotti e per le porte OR delle somme. Posto che ciò di cui disponiamo sono le porte AND e OR, ne invertiremo le uscite e avremo, così, le porte necessarie. Ciascuna delle variabili del circuito viene simulata per mezzo di un pulsante, di modo che in stato di riposo sarà sempre a zero, mentre attivato sarà sempre a uno. Così, alle entrate invertite dovremo solamente applicare un invertitore.

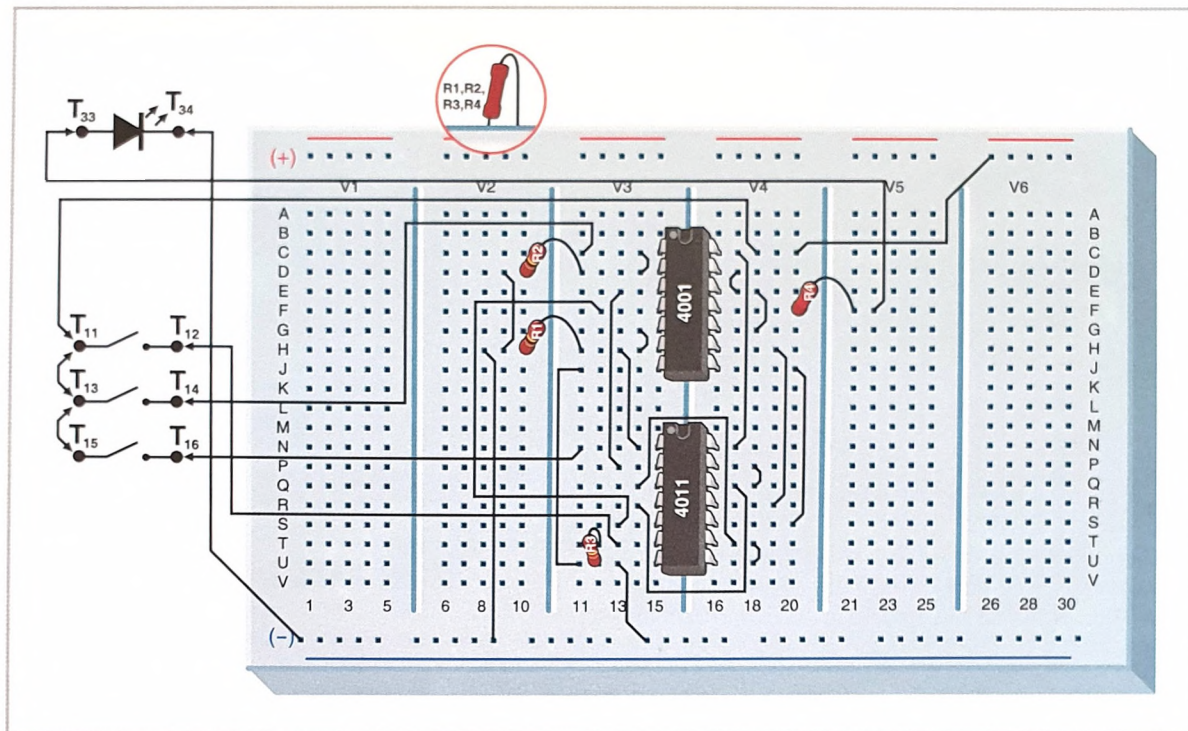
TAVOLA DELLE VERITA'

A	B	C	D	S
1	1	1	1	1
1	1	0	0	1
1	1	1	0	1

Ogni pulsante rappresenta una variabile d'entrata.

Verifica

Una volta montato il circuito, dovremo verificare tutte le possibilità che possono presentarsi premendo tanti pulsanti quante sono, appunto, le variabili a '1' esistenti nella fila che stiamo verificando. Si osservi che nelle altre dodici possibili combinazioni delle entrate, l'uscita sarà sempre a '0'.

Circuito combinatorio (II)

Quando si verificano determinate combinazioni dei tre pulsanti, condiziona l'accensione di un LED.

In questo esperimento, andremo a progettare un circuito nel quale, mediante tre interruttori, controlleremo lo stato d'accensione e di spegnimento di una lampadina in funzione di una serie di condizioni che imporremo al sistema. In pratica, sostituiremo gli interruttori con dei pulsanti e la lampadina con un LED.

Il problema

Si tratta di accendere una lampadina per mezzo di tre pulsanti (A, B e C) soddisfacendo le seguenti condizioni:
A premuto, B e C in riposo.
A in riposo, B e C premuti.
A e C premuti, B in riposo.
Supponiamo che il pulsante premuto valga '1', mentre quando è in stato di riposo valga '0'.

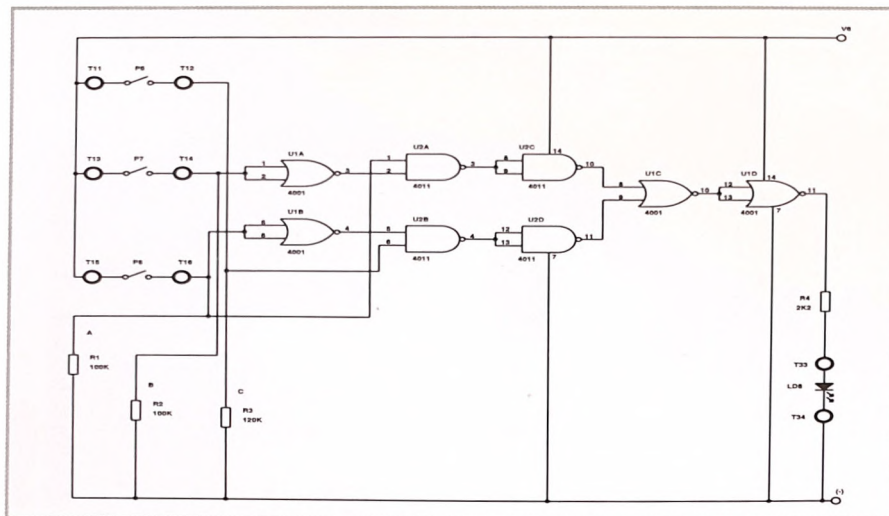
Progetto

In questo caso, non c'è niente che possa far sorgere dei dubbi riguardo al numero di variabili d'entrata che il nostro montaggio dovrà avere. Le variabili saranno tre: A, B e C con un'unica uscita S. Una volta che tutte le variabili siano chiare, si può realizzare la tavola della verità – la realizzeremo con combinazioni in minitermini – per cui prenderemo in esame solamente le uscite che abbiano come valore '1'.

Conseguimento dell'equazione

Otterremo l'equazione dell'uscita direttamente dalla tavola delle verità. Dato che solamente le uscite sono attivate, a '1' cioè, l'equazione di uscita sarà la somma dei quattro addendi – prodotto delle variabili A, B e C. Dobbiamo dire che si potrebbe aver posto il resto della tavola, la cui uscita sia sempre '1' prima di qualsiasi combinazione d'entrata, usando dei maxitermini per ottenere l'equazione di uscita. Possiamo semplificare notevolmente l'equazione togliendo i fattori comuni e tenendo conto del fatto che una variabile sommata alla medesima variabile invertita dà come risultato sempre '1' – è una proprietà. Tutto ciò è logi-

Nella tavola vengono indicate solamente le combinazioni che all'uscita danno '1'

Circuito combinatorio (II)

COMPONENTI	
R1, R2	100 K
R3	120 K
R4	2K2
U1	4011
U2	4001
LD8	
P6 a P8	

co, dato che una delle due (normale o invertita) sia sempre '1' e che l'uscita sia sempre a livello alto. Per chi abbia già afferrato questi argomenti sarà semplice da capire, gli altri dovranno faticare un po' di più.

TAVOLA DELLE VERITA'

A	B	C	S
1	0	0	1
0	1	1	1
0	0	1	1
1	0	1	1

Il circuito

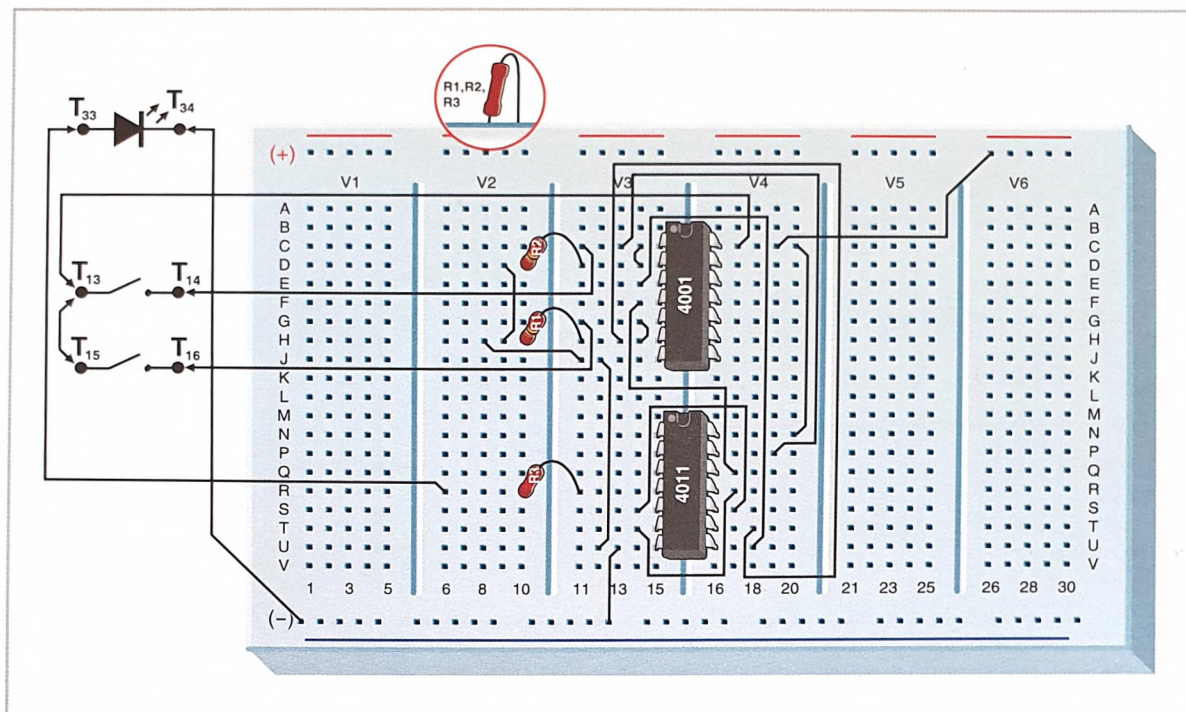
Nel montaggio del circuito si utilizzano tutte le porte dei due circuiti integrati. Come invertitori delle entrate vengono usate le porte NOR (U1A e U1B). Per realizzare le due porte AND si usano porte NAND (U2A e U2B) con l'uscita invertita da un'altra NAND (U2C e U2D). La porta OR che effettua la somma dei due termini dell'equazione si realizza a partire da una porta NOR (U1C) a cui viene invertita l'uscita (U1D).

Gli stati d'entrata che non sono stati inclusi nella tavola hanno come uscita '0'.

Verifica

Una volta montato il circuito, dobbiamo verificare tutte le combinazioni cui i tre pulsanti possono dare luogo.

Circuito combinatorio (III)

Controllo di una lampadina mediante due pulsanti.

In questo caso, controlliamo mediante due pulsanti l'accensione di una lampadina. Si accenderà quando una serie di condizioni concernenti i pulsanti verranno soddisfatte. Questo tipo di controllo potrebbe venire esteso anche a un motore elettrico, a un nastro trasportatore o a qualunque altro circuito.

Il problema

Controlleremo la lampadina, che nel nostro caso è un LED, mediante due pulsanti, di modo che siano soddisfatte le seguenti condizioni:

- A e B in stato di riposo, lampadina spenta.
- A attivato e B in stato di riposo, lampadina accesa.
- A in stato di riposo e B attivato, lampadina accesa.
- A e B azionati, lampadina spenta.

Progetto

Dedurre le variabili non è complicato, dato che si tratta soltanto di due pulsanti che pilotano la lampadina: A e B. In stato di riposo, i pulsanti applicano uno '0' al circuito, mentre se sono attivati un '1'. Con questi pochi dati e con le tavole precedenti siamo in grado si produrre la tavola delle verità.

Ottenere le variabili costituisce il primo passaggio

Come comporre l'equazione

Per comporre l'equazione di uscita dobbiamo tenere conto solamente delle entrate che avranno come valore di uscita '1'. Se applichiamo la Legge di Morgan, che abbiamo già avuto modo di conoscere, e invertiamo per due volte l'equazione, quest'ultima non cambia. Dividiamo una delle due inversioni in due e la sommiamo all'altra; la somma si converte in prodotto. In questo modo convertiamo l'equazione in porte NAND.

Realizzando l'operazione di cui abbiamo appena parlato, possiamo fare in modo che il circuito utilizzi solamente porte di un unico tipo; nel caso che abbiamo considerato, porte NAND.

Il circuito

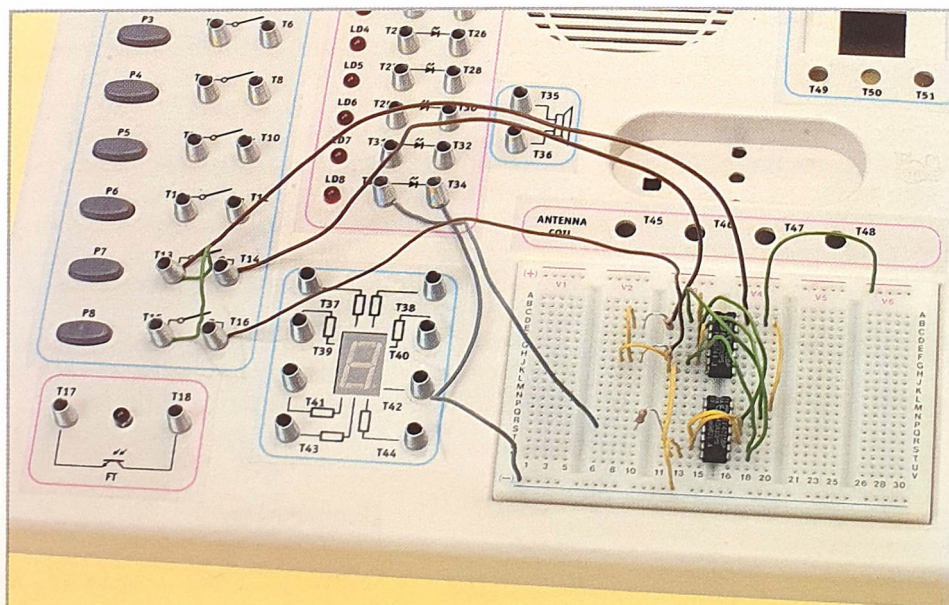
Ottenuta l'equazione finale, il montaggio del circuito risulterà semplicissimo, perché

Circuito combinatorio (III)

COMPONENTI	
R1, R2	100 K
R3	2K2
U1	4001
U2	4011
LD8	
P7 y P8	

avremo bisogno solamente di porte NAND. In questo caso, sono state utilizzate anche porte NOR, come invertitori. Se osserviamo il circuito, possiamo notare che esso è completamente simmetrico: i due operandi della funzione, cioè, hanno esattamente lo stesso numero di porte. La porta NAND, U2C, fornirà il prodotto finale.

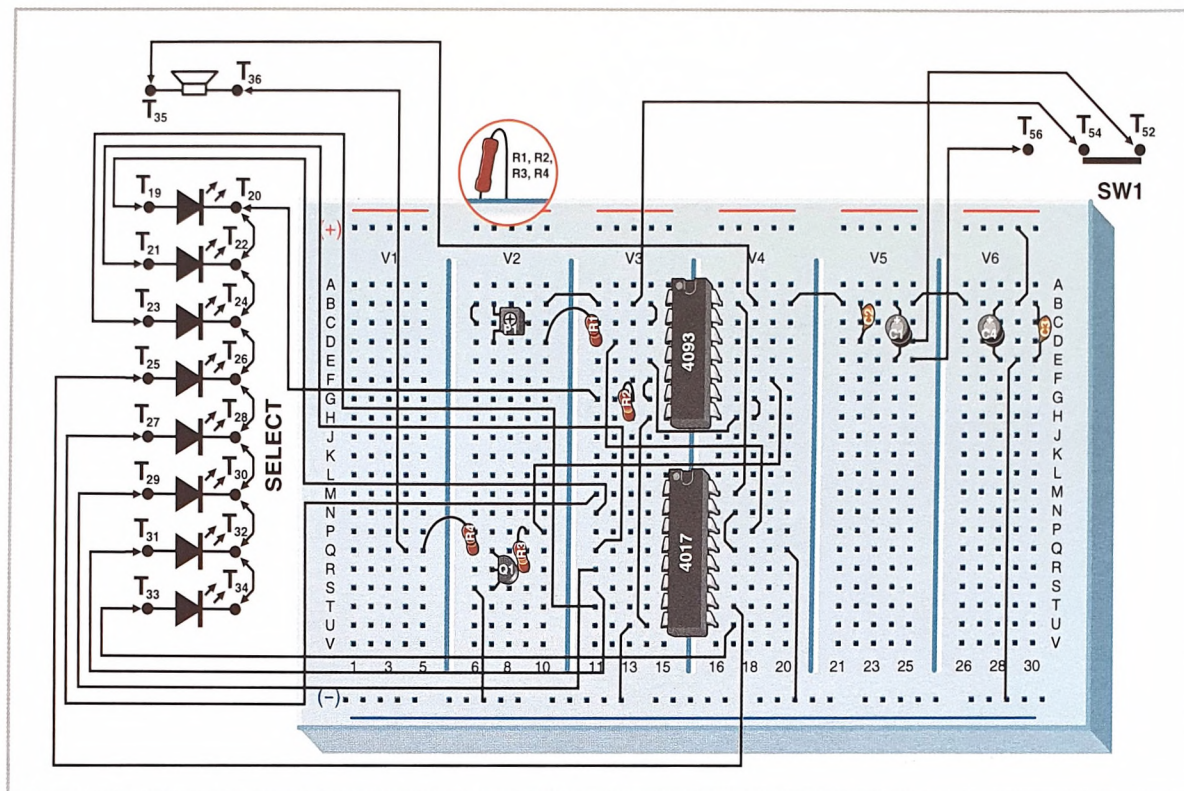
TAVOLA DELLE VERITA'

A	B	S
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

In stato di riposo, le entrate sono a basso livello grazie alle resistenze R1 e R2.

Verifica

Realizzato il circuito e sicuri che le alimentazioni dei circuiti integrati siano state perfettamente collegate, verificheremo la tavola della verità. La funzione dell'uscita equivale a quella di una porta OR esclusiva, di una porta, cioè, in cui l'uscita vale '1' solamente quando una delle entrate è a livello alto.

Generatore con larghezza d'impulso variabile

Senza variare la frequenza, è possibile modificare il ciclo di lavoro.

Con questo oscillatore, oltre a poter regolare la potenza, sempre mediante il potenziometro P1, possiamo regolare anche il ciclo di lavoro, il tempo in cui, cioè, il segnale sta a livello alto. Il ciclo di lavoro si controlla aggiungendo dei led di controllo, iniziando da J1.

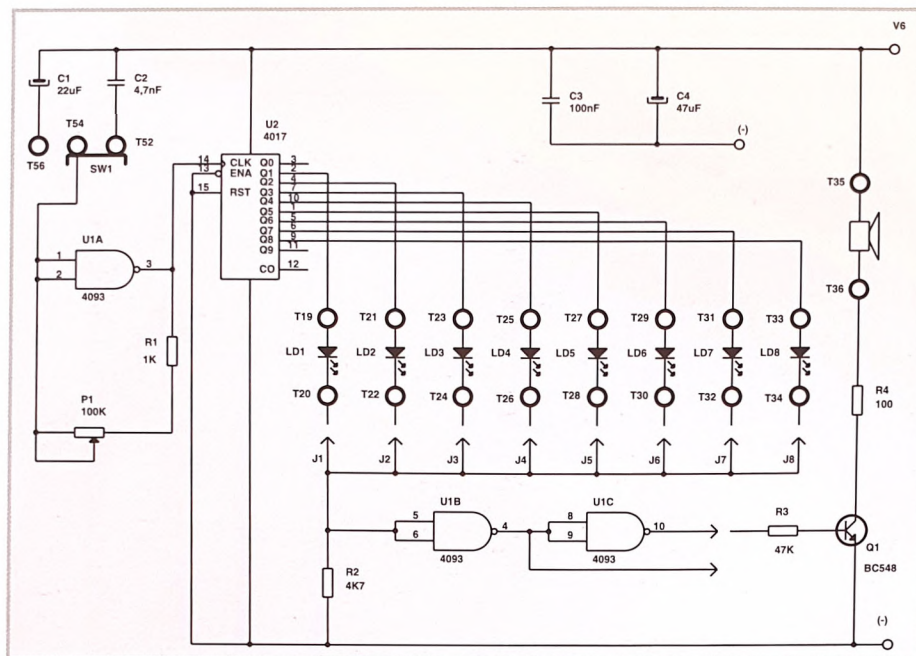
Funzionamento

A partire da una frequenza generata dal generatore a onda quadra collegato sulla porta NAND, si ottiene il segnale di uscita, la cui frequenza è sempre dieci volte minore rispetto a quella dell'oscillatore. Per visualizzare il segnale in uscita si deve realizzare un qualche ponte, da J1 a J8. Se non collegassimo questi punti con dei diodi (LED nel nostro caso), all'uscita (porte U1B e C) non avremmo nessun segnale. Ora, per poter cambiare il ciclo di lavoro, si devono aggiungere i LED che vanno da J1 a J8, lasciando collegati i LED precedenti e ottenendo un segnale di uscita in cui il ciclo di lavoro varierà dal 10% (con J1) all'80% (con tutti i LED collegati da J1 a J8). Possiamo prelevare il segnale risultante come normale, nell'uscita U1C, oppure invertito, nell'uscita U1B.

Il circuito

Il circuito si può dividere in tre parti: il generatore, il contatore e lo stadio di uscita. Il generatore a onda quadra è costituito dalla porzione di integrato 4093 che è la porta U1A. Ha due livelli di lavoro che possiamo selezionare grazie al commutatore SW1. Se commutiamo C1, l'oscillatore permette un livello di lavoro che noi possiamo regolare, da 0,5 Hz a 40 Hz, attraverso il potenziometro P1. Se invece, commutiamo C2, l'oscillatore consente un livello di lavoro da 2,2 a 140 KHz. Applichiamo l'uscita dell'oscillatore al contatore 4017, che quando riceve dall'entrata del clock un impulso, attiva le sue uscite, una dopo l'altra. In questo modo, ogni ponte collocato aumenterà il livello alto del segnale dell'uscita. L'uscita normale è nella porta U1C, mentre l'uscita invertita la otterremo dalla porta U1B. In questo modo, oltre a

Larghezze dell'impulso regolabile

Generatore con larghezza d'impulso variabile

COMPONENTI	
R1	1K
R2	4K7
R3	47 K
R4	100 Ω
P1	100 K
C1	22 µF
C2	4,7 nF
C3	100 nF
C4	47 µF
Q1	BC548
U1	4093
LD1 a LD8	
ALTOPARLANTE	
SW1	

poter variare la parte positiva del segnale d'uscita, prendendo l'uscita invertita, possiamo variare il livello basso. I diodi LED servono a isolare le diverse uscite di U2 quando si collegano i ponti. Inoltre, a seconda di come si illuminano, ci visualizzano la durata del segnale di uscita a livello alto, se usciamo attraverso U1C, o a livello basso, se usciamo attraverso U1B.

Il commutatore consente di selezionare la banda di frequenza.

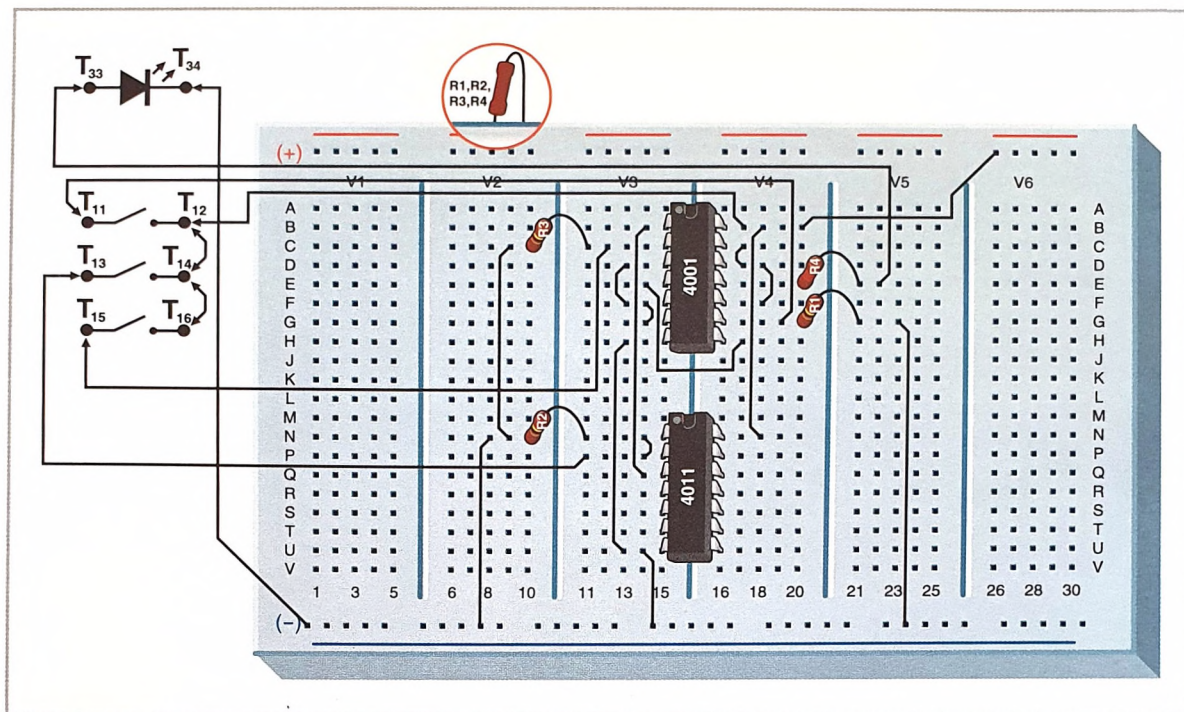
Avviamento

Il circuito funzionerà, senza problemi, se si collega correttamente secondo lo schema. Una volta collegata l'alimentazione, e collegata l'uscita di U1B o U1C alla resistenza di base R3, l'altoparlante deve emettere un qualche tipo di rumore oppure di ronzio. Quando si seleziona C1, non emetterà ronzii, ma suoneranno come colpi, dato che la frequenza è bassissima.

Esperimenti

Si possono fare diversi esperimenti con questo montaggio. Il primo è di cambiare la frequenza dell'oscillatore, per cui basta scegliere altri valori per i condensatori C1 o C2. Il transistor e l'altoparlante non formano parte del circuito, ma si utilizzano per verificare il funzionamento del circuito, quando la frequenza è elevata e l'occhio non riesce a seguire il lampeggiare dei LED.

Circuito combinatorio semplificato (I)

Semplificando, riduciamo considerevolmente le dimensioni del circuito.

Il circuito non è un'applicazione concreta, se non per il fatto che partiamo da un'equazione logica. Si tratta di verificare come a partire dalla medesima equazione logica, possiamo ottenere un circuito senza semplificare niente e un circuito semplificando quanto possibile e che i due circuiti hanno lo stesso funzionamento.

Semplificazione

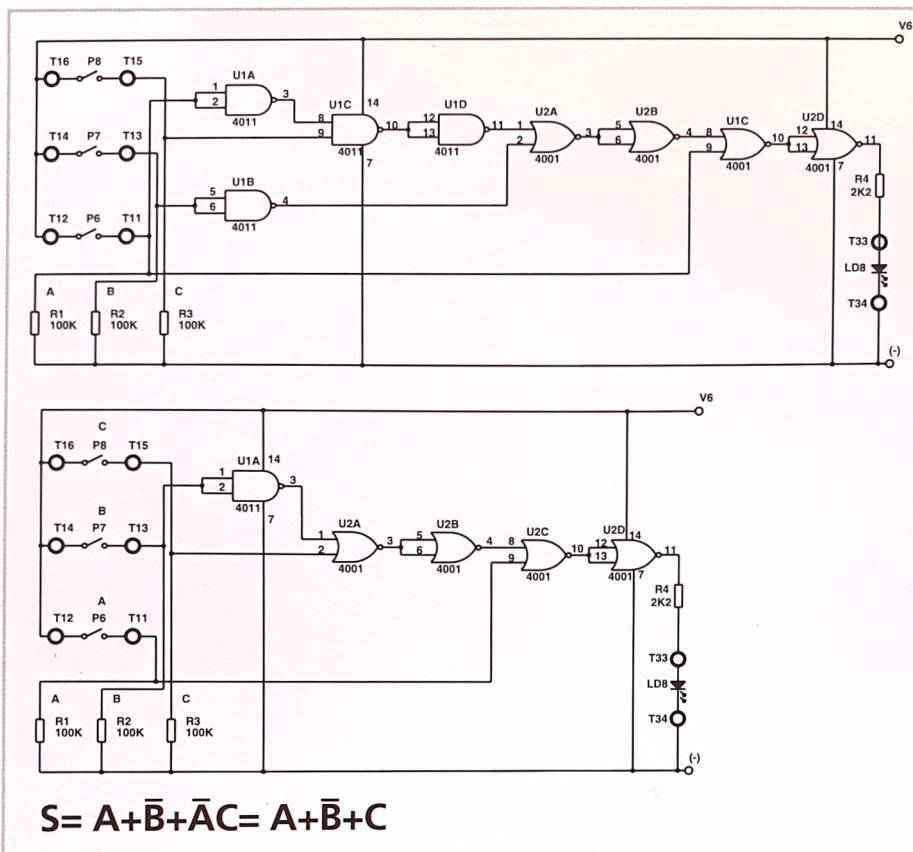
Per stimare realmente una semplificazione, oltre a paragonarlo con lo schema, dobbiamo anche confrontare il circuito reale, tale e quale esce implementato direttamente dall'equazione e come risulta semplificato. Normalmente, si utilizza quello semplificato, e anche se si riducono le porte, non si riducono le porte sufficienti a eliminare un circuito integrato completo, in molti casi può essere che non sia conveniente usare quello semplificato. Molti progettisti preferiscono lasciare il circuito tale e quale è, se non si riesce a ottenere una riduzione fisica di un integrato intero; il motivo è che l'enorme quantità di rumore che si genera fra le varie parte presenti nei circuiti integrati obbliga a porre le entrate non usate a massa o al positivo dell'alimentazione. In questo modo, se sono collegate formando parte del restante circuito, si eviterà il problema non effettuando la riduzione.

In questa equazione la semplificazione sembra vicina: basta applicare il teorema di ridondanza ai due termini che hanno la variabile 'A' (uno normale e l'altro invertito). Si riduce, così, il circuito a una semplice somma delle tre variabili.

Il circuito

Come abbiamo detto, il circuito risponde a un'equazione logica che ha tre addendi che si possono implementare con porte NOR a due entrate. Pertanto, dobbiamo realizzare una porta OR a tre entrate a partire da porte NOR di due entrate, dato che sono necessarie tutte le porte di un integrato (U2A, U2B, U2C e U2D). Inoltre, è necessario invertire l'entrata B ed è quindi necessario un altro integrato U1 (4011). Se si osserva il montaggio senza semplificare, nel montaggio si utilizzano tutte le porte dell'integrato 4011, quindi la semplificazione ha ridotto tre porte, ma non ha eliminato nessun integrato.

Applicazione del teorema della ridondanza

Circuito combinatorio semplificato (I)

COMPONENTI	
R1,R2,R3	100 K
R4	2K2
U1	4011
U2	4001
LD8	
P6 a P8	

Montaggio ideale

In questo caso, abbiamo montato il circuito con porte a due entrate; esiste sicuramente sul mercato un integrato NOR a tre entrate con il quale potremmo realizzare il circuito semplificato utilizzando un solo integrato che al suo interno possiede tre porte. Perciò, se ne useranno due come invertenti, uno per l'entrata B e un altro per la NOR che somma le tre variabili e le inverte.

Avviamento

Una volta collegata l'alimentazione, possiamo realizzare una tavola teorica su un pezzo di carta e poi verificheremo la tavola sul circuito stesso. Il diodo LED LD8 deve funzionare, perché l'entrata B è invertita. Se non si illuminasse, scollegheremo l'alimentazione e verificheremo tutte le connessioni del circuito.

Montaggio del circuito semplificato. In stato di riposo il diodo rimane illuminato.

Circuito combinatorio semplificato (II)

La semplificazione riduce componenti e costi.

Anche in questa applicazione si parte da un'equazione logica. Si tratta di applicare varie proprietà e teoremi dell'algebra logica per semplificare per quanto possibile l'equazione logica, in modo che operativamente si raggiunga il medesimo risultato, ma con un minor numero di componenti.

Semplificazione

Il primo passaggio da realizzare è applicare il teorema di Morgan sulla somma delle variabili invertite. In questo modo si convertirà la somma in prodotto. In seguito, togliamo la doppia inversione, dato che la variabile non cambia, rimanendo i due addendi (AB + ABC) a quelli che si possono avere come fattore comune nelle variabili A e B; l'equazione, cioè, risulta essere: AB(1 + C). Qualsiasi variabile sommata a 1 ci darà sempre 1 e moltiplicato per AB, ci darà sempre AB. In questo modo, si può vedere come applicando ordinatamente quello che si è imparato, si può realizzare la semplificazione di tutti i circuiti in maniera semplice. Queste tecniche di progetto si utilizzano da sempre e sono molte pratiche in un'infinità di situazioni, dato che non è ancora stato sviluppato nessun programma per computer che lo possa fare: dipende ancora tutto dalla perizia del progettista stesso.

Si applicano la proprietà distributiva, la regola OR e il teorema di Morgan

Il circuito

Come si vede nel circuito originale c'è un'equazione logica che ha delle somme che si implementano con porte NOR a due entrate e prodotti che saranno messi in pratica con porte NAND. Per poter realizzare il montaggio di questo circuito sono necessari tre circuiti integrati. Nella semplificazione, tutto è ridotto solamente ad un integrato: dopo aver semplificato, ci rimane una semplice porta AND a due entrate. La sua realizzazione si porta a termine con le porte NAND, per cui saranno necessarie due porte, quella che realizza il prodotto, invertendo l'uscita e l'altra che funziona come invertente per ottenere un segnale pulito, invertendo l'uscita.

Circuito combinatorio semplificato (II)

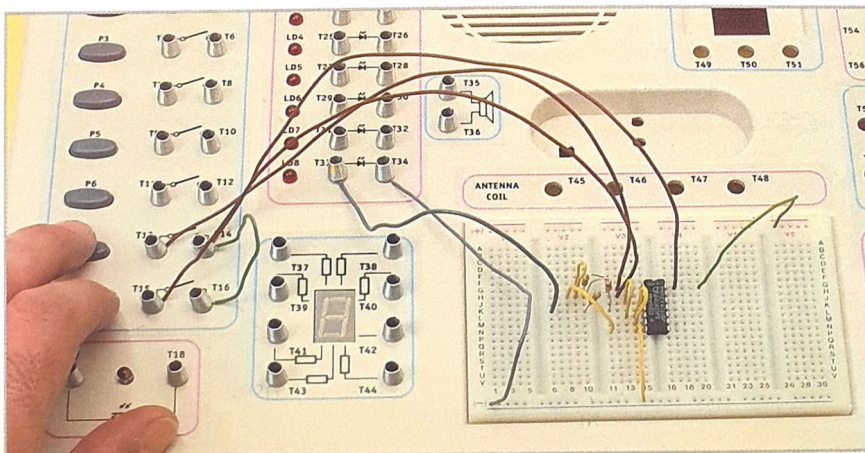
$$S = A \cdot B + (\overline{\overline{A}+\overline{B}})C = AB + (\overline{\overline{A}} \cdot \overline{\overline{B}}) \cdot C = A \cdot B + ABC =$$
$$A \cdot B\,(1+C) = A \cdot B$$

COMPONENTI	
R1,R2	100 K
R3	2K2
U1	4011
LD8	
P7 a P8	

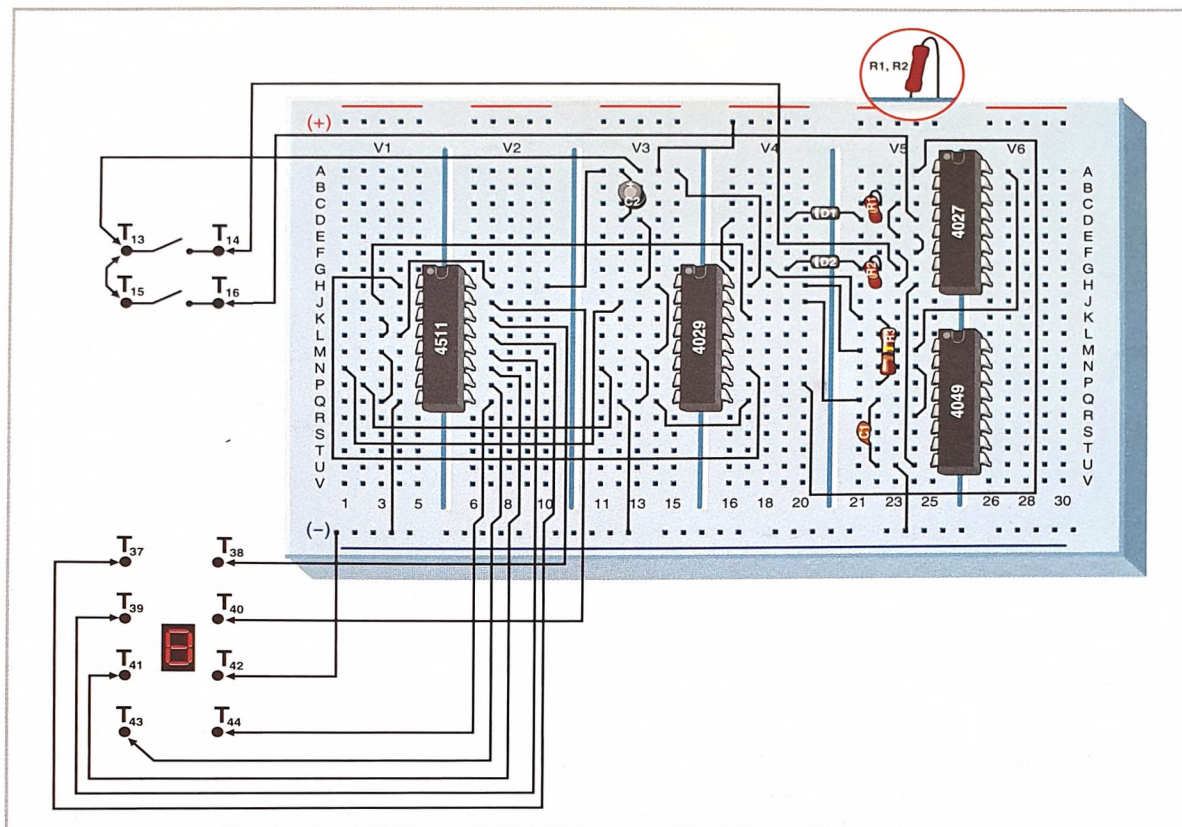
Montaggio ideale

Si può considerare il montaggio come ideale perché anche se non è possibile semplificare il numero degli integrati, è però possibile semplificare quello delle porte; esistono infatti sul mercato degli integrati di porte AND a due entrate. Se ne utilizzassimo uno, tutto questo complicato circuito che implementa l'equazione risulterebbe ridotto a una sola porta. Ma, disponiamo solamente di porte NAND e dobbiamo utilizzarne una come invertente, come abbiamo spiegato.

Avviamento

Una volta collegata l'alimentazione al circuito, il diodo non si deve illuminare salvo quando premiamo insieme i due pulsanti; se il diodo non dovesse illuminarsi nemmeno facendo così, spegneremo immediatamente l'alimentazione e verificheremo la polarità con cui sono stati collegati il diodo e l'integrato. Se dopo averli attentamente controllati non avessimo trovato nessuna anomalia, dovremo controllare la connessione dei pulsanti e del diodo LED.

L'uscita risponde a una porta AND con due ingressi che è stata costruita con due porte NAND.

Contatore ascendente e discendente con pulsanti

Un pulsante incrementa il conteggio del display, mentre l'altro lo fa diminuire.

Il circuito corrisponde a un contatore BCD con un originale circuito di controllo dell'entrata del clock e del senso del conteggio. Disponiamo di due pulsanti, UP e DOWN, di modo che, se azioniamo il pulsante UP, il contatore conta in modalità ascendente, mentre se azioniamo il pulsante DOWN, lo fa in modalità discendente; il conteggio viene rappresentato sempre sul display.

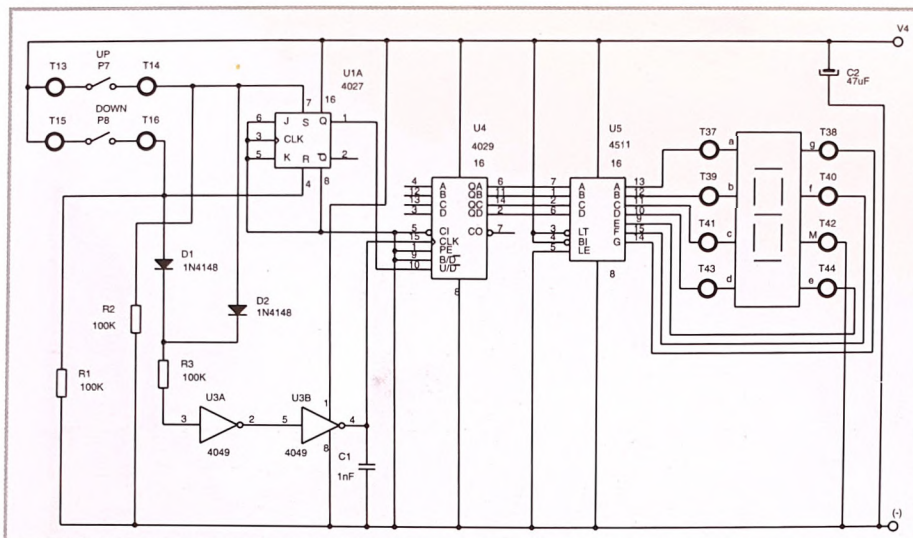
Il circuito

Il circuito è costituito da tre parti ben differenziate: il circuito di controllo, il contatore e la rappresentazione sul display. Da un lato c'è la parte che controlla, formata dal flip-flop 4027, dai diodi D1 e D2 e dalle porte U3A e U3B, attraverso il flip-flop posto a uno o a zero, si può configurare il contatore cosicché conti secondo la modalità ascendente o secondo quella discendente: la sua uscita, infatti, è collegata all'entrata UP/DOWN del contatore. Tutto ciò lo si ottiene azionando le entrate Set e Reset mediante, rispettivamente, i pulsanti P7 e P8. Una volta stabilita la modalità di conteggio, il cambiamento di livello serve per introdurre nel clock un impulso, così che quest'ultimo possa effettuare il conteggio. Con il contatore configurato come contatore BCD, esso conterà di uno in uno da 0 a 9 in modalità ascendente e, sempre di uno in uno, da 9 a 0 in modalità discendente. I diodi D1 e D2 servono a far sì che i pulsanti possano azionare la medesima entrata, dato che l'azionamento dell'uno è indipendente rispetto all'azionamento dell'altro.

Un circuito di controllo stabilisce la modalità di conteggio

Funzionamento

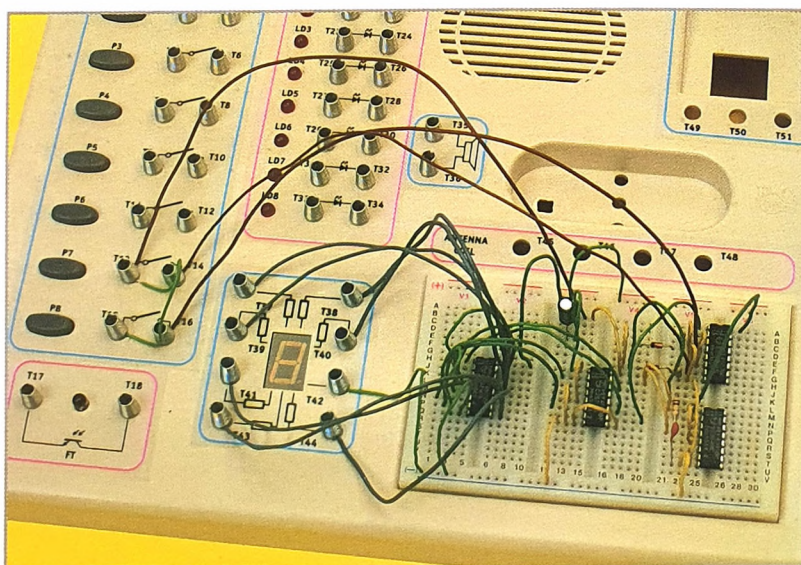
Una volta collegato all'alimentazione, il circuito sarà in grado di avviarsi. Se premiamo il pulsante P7 (UP), si attiverà l'entrata Set del flip-flop J-K e la sua uscita Q sarà posta a livello alto. Se si attiva l'entrata Set del flip-flop, si effettua mediante le porte invertenti il cambiamento di livello. Perché il circuito funzioni correttamente, è importantissimo

Contatore ascendente e discendente con pulsanti

COMPONENTI	
R1, R2, R3	100 K
C1	1 nF
C2	47 µF
D1, D2	1N4148
U1	4027
U2	4029
U3	4511
DISPLAY	
P7 eP8	

che il contatore memorizzi la precedente modalità di conteggio prima di ricevere l'impulso del clock. Riusciamo a raggiungere questo scopo utilizzando due porte del 4049, che danno un piccolissimo ritardo all'impulso del clock; esso, tuttavia, è sufficiente a far rilevare dal contatore prima la modalità di conteggio e poi l'impulso del clock. Dobbiamo considerare il fatto che stiamo lavorando con tempi ridottissimi – lavoriamo con i nanosecondi – e quindi anche il ritardo sarà piccolissimo. Se si aziona P8, DOWN, succede esattamente la stessa cosa, ma la modalità di conteggio è discendente. Il resto del circuito lo conosciamo: l'uscita del contatore si collega direttamente al decodificatore a sette segmenti e quest'ultimo al display.

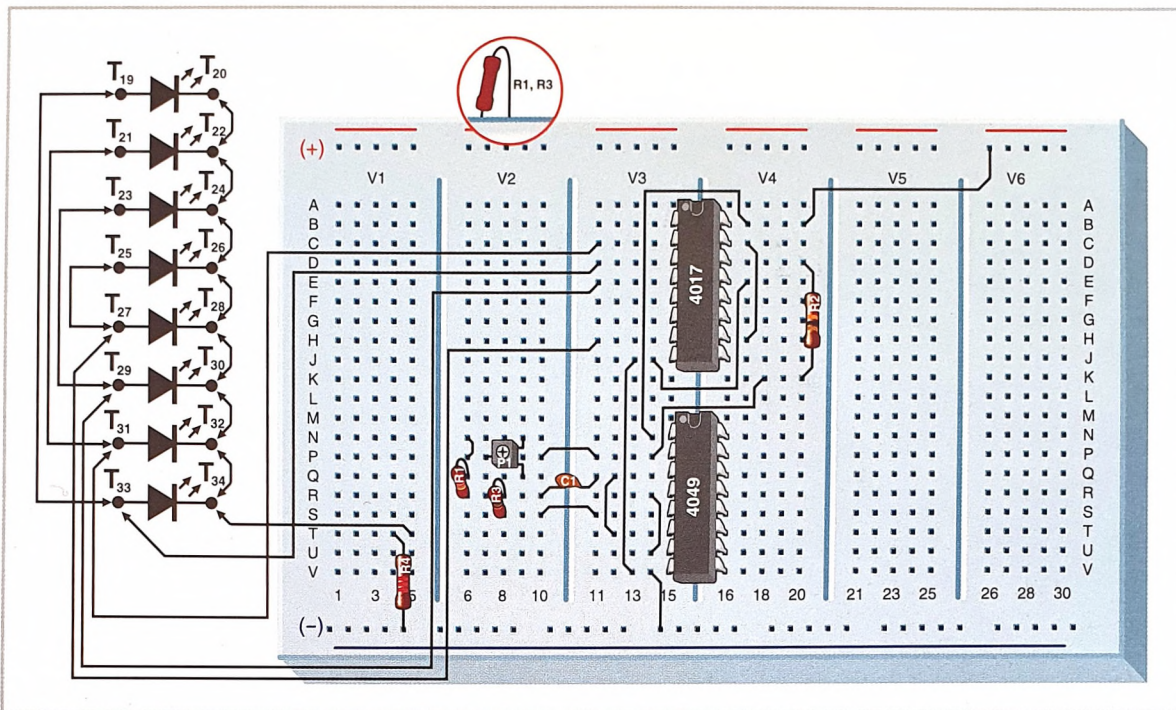
Avviamento

Tra tutti i componenti del circuito, solamente i diodi D1 e D2 possiedono la polarità, per cui dovremo fare attenzione alla loro connessione; il catodo, nello schema è la punta della freccia, è quello che ha più vicina la banda stampata sul corpo del componente.

In generale, dovremo fare attenzione a tutte le connessioni e non dovremo dimenticarci del terminale comune del display che, perché il circuito funzioni bene, deve essere collegato al negativo dell'alimentazione.

Questo circuito conta in modalità ascendente con P7 e in modalità discendente con P8.

Esperimento

Una prova interessante consiste nel togliere il circuito integrato 4049 e il condensatore C1 e nel collegare direttamente la resistenza R3 all'entrata del clock del circuito 4029. Il circuito logico non cambia, ad eccezione dei ritardi, ma funzionerà in maniera poco sicura, sempre che funzioni. È molto probabile, comunque, che non funzioni. Come regola generale, dobbiamo utilizzare solamente circuiti che funzionano sicuramente, ad eccezione di quando effettuiamo esperimenti di poca importanza.

Simula il movimento dei LED dalla fine della linea verso il centro.

Il circuito realizza uno spostamento dei LED che simula un movimento dall'esterno all'interno. Perciò si utilizzano una particolare connessione dei LED e un oscillatore con tre porte invertenti.

Il circuito

Perché il circuito funzioni automaticamente, è necessario un segnale del clock abbastanza lento da poterne osservare l'effetto luminoso. Nel nostro esperimento abbiamo misurato una frequenza approssimativamente tra gli 8 e i 113 Hz, a seconda della posizione del cursore del potenziometro di regolazione P1. L'uscita dell'oscillatore viene direttamente collegata all'entrata del clock del 4017. Questo integrato è configurato per contare solamente quattro impulsi e per ripetere nuovamente il ciclo di lavoro. Perciò, si utilizzano le quattro uscite Q0, Q1, Q2 e Q3, mentre l'uscita Q4 è a zero riporta il contatore perché quest'ultimo salti e ricominci a di nuovo da Q0. L'uscita Q0 attiverà i LED LD1 e LD8, l'uscita Q1 i LED LD2 e LD7, l'uscita Q2 i LED LD3 e LD6 e l'uscita Q3 i LED LD4 e LD5. Poiché ogni volta c'è solamente un'uscita attiva, esiste solo una resistenza di polarizzazione per tutti i LED attraverso la quale circola sempre la medesima corrente.

Si modificano le connessioni dei LED

Funzionamento

Con l'alimentazione collegata, il circuito oscillerà e il 4017 inizia ad attivare le proprie uscite adiacenti e seguendo la sequenza prima indicata. Se la velocità è quella massima, non possiamo vedere il movimento dei LED perché essi rimarranno illuminati praticamente in maniera costante. Se vogliamo distinguere il cambiamento da un LED all'altro, sarà necessario variare il potenziometro ponendolo al suo massimo valore, di modo che l'oscillatore riduca la propria frequenza di uscita: ciò rallenta istantaneamente il movimento.

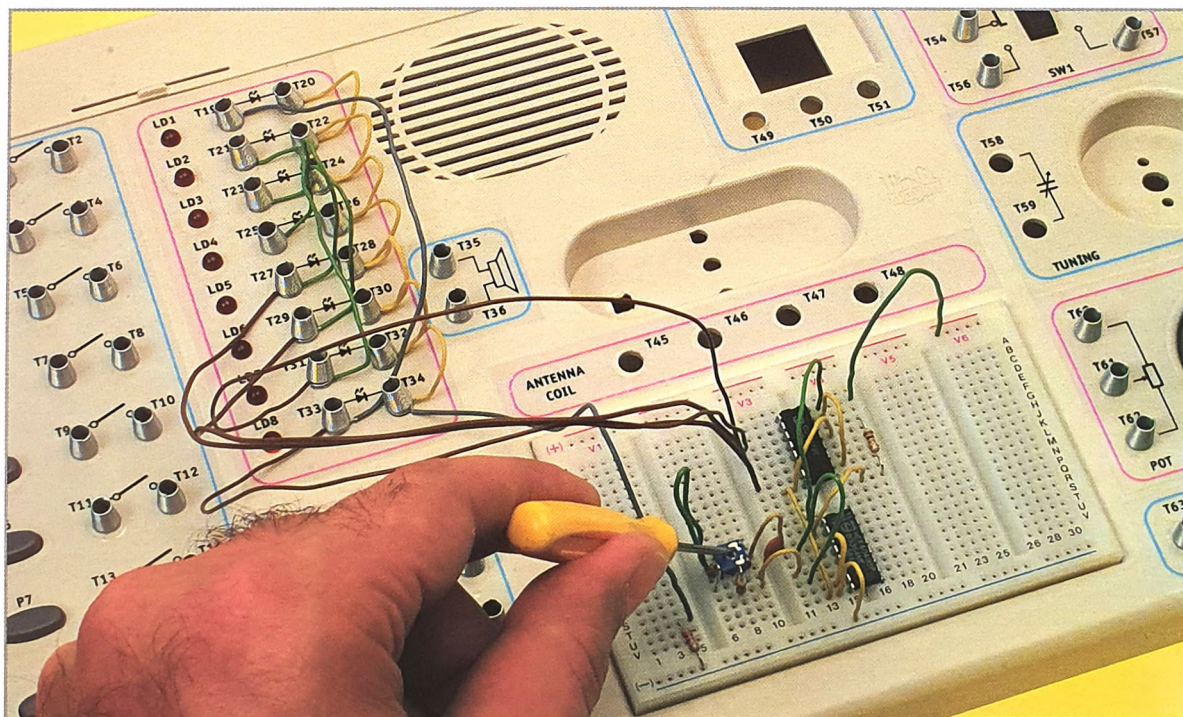
Esperimento 1

Se vogliamo cambiare il livello di luminosità dei LED, basterà cambiare il valore della resi-

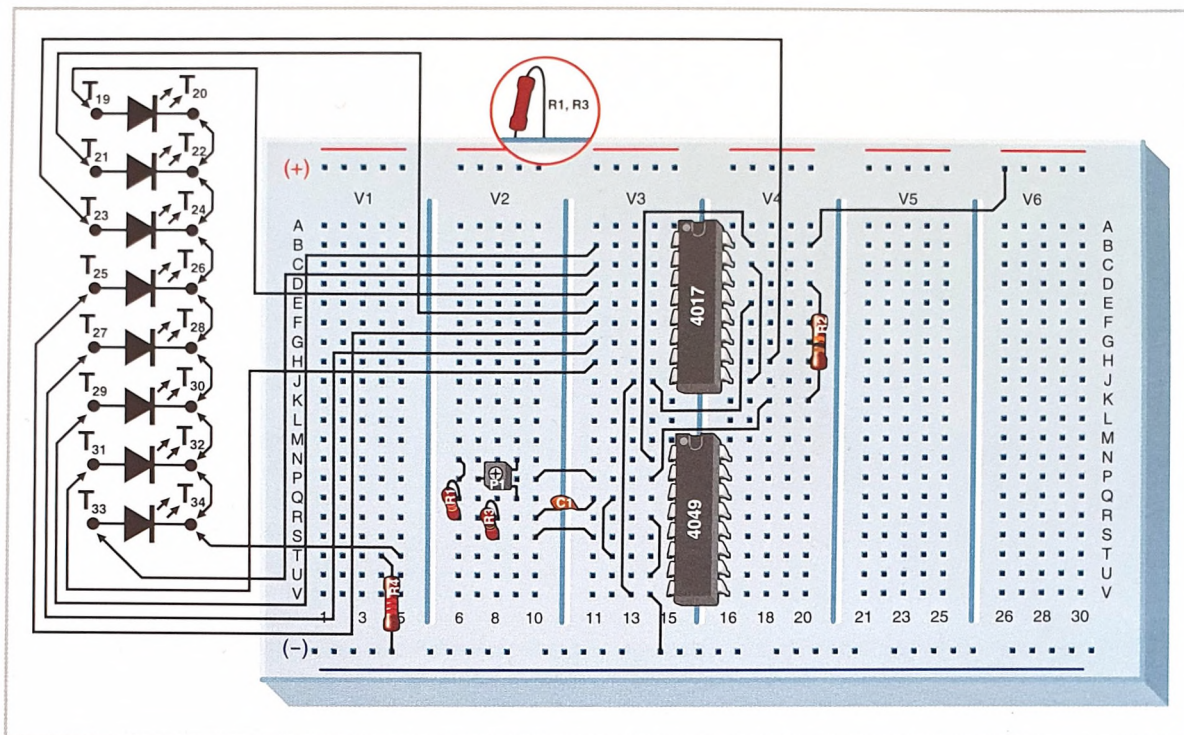
stenza R4 collocata nel punto in cui i catodi si uniscono. È importantissimo considerare che la corrente che circolerà sarà (9–1,6)/R e che non dovrà mai superare i 10 mA.

COMPONENTI	
R1	47 K
R2	10 K
R3	1M
R4	2K2
P1	500 K
C1	47 nF
U1	4049
U2	4017
LD1 a LD8	

Esperimento 2

Questo oscillatore è realizzato con porte invertenti e, quindi, per variarne la frequenza, bisogna fare quello che si fa con quasi tutti gli oscillatori: cambiare il valore della resistenza R1 o del condensatore C1. Diminuendo questi valori, la frequenza aumenta e viceversa. La resistenza R4 determina il livello di luce emessa dai LED.

L'effetto luminoso inizia quando si collega l'alimentazione.

Varianti per il gioco di luci

Con un cablaggio selettivo otteniamo diversi effetti luminosi.

Questo esperimento possiede lo stesso circuito base del gioco di luci, "DIGITALE 55", ma è molto interessante verificare che con un cablaggio adeguato si ottengono effetti molto diversi tra loro senza dover ricorrere a complicati circuiti. Adesso presentiamo una variante, ma crediamo che sia molto stimolante che ciascuno esperimenti e progetti le proprie variazioni, osservandone grazie al laboratorio l'effetto reale. Se terrete montato il 555, dovrete lavorare pochissimo in questo montaggio.

L'oscillatore

Se vogliamo realizzare un montaggio di questo tipo, in cui si cerca di dare una sensazione di movimento attraverso l'illuminazione di numerosi diodi LED, la velocità del movimento deve avere un limite superiore. Perciò, l'oscillatore non deve avere un'elevata gamma di frequenze in uscita: così l'occhio può seguire il movimento.
Cambiando i valori del circuito oscillatore, dobbiamo ricordarci che R3 deve essere abbastanza maggiore di R1 + P1. La cosa più semplice è cambiare il valore del condensatore C1, provando con 10 nF, 22 nF, 100 nF, 220 nF eccetera anche se con il potenziometro P1 possiamo ottenere una notevole gamma di valori.

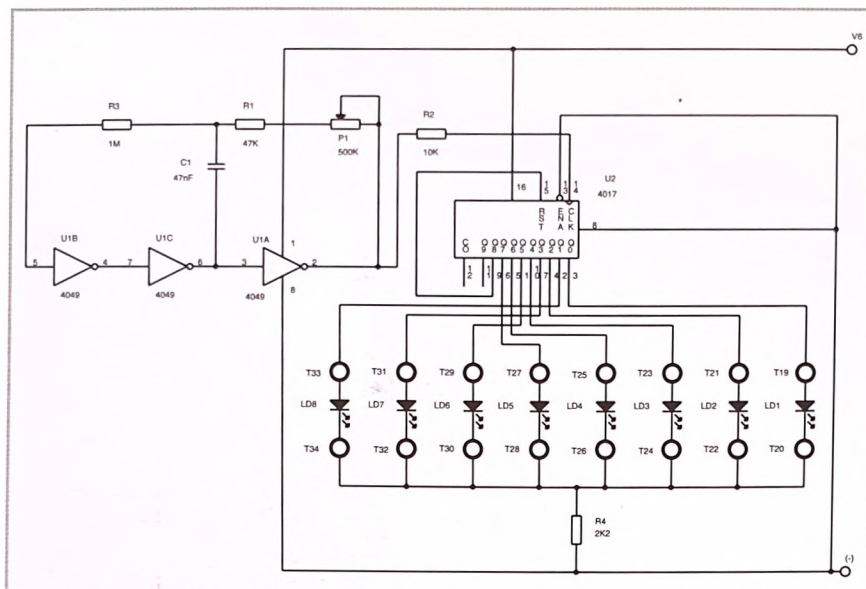
Il circuito

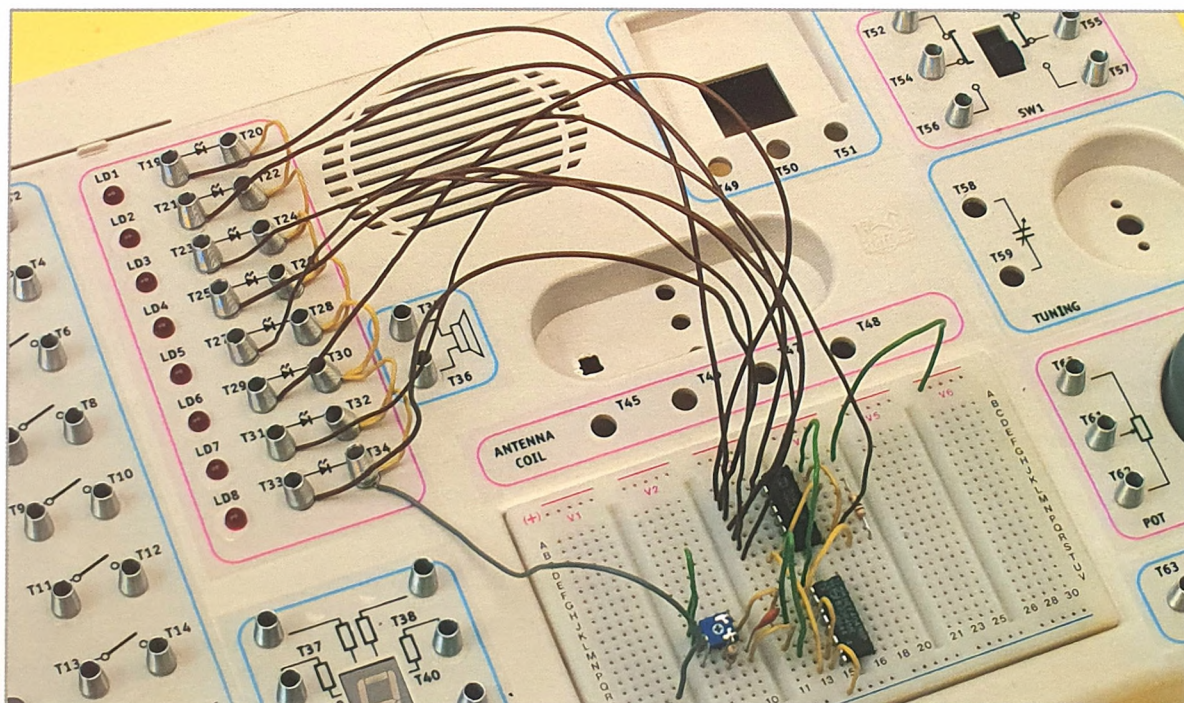
Partendo dai valori raccomandati, la frequenza dell'oscillatore varierà dagli 8 Hz ai circa 113 Hz. Il potenziometro P1 viene utilizzato per cambiare la frequenza all'interno di questi margini. L'uscita dell'oscillatore viene direttamente collegata all'entrata del clock del 4017. Questo integrato è configurato in maniera tale da contare 8 impulsi e da ripetere nuovamente il ciclo di lavoro. Perciò si utilizzano le uscite da Q0 a Q7, mentre l'uscita Q8 resetta l'integrato per far ricominciare il conteggio. I LED sono collegati in modo da ottenere la seguente sequenza: LD1-LD8-LD2-LD7-LD3-LD6-LD4-LD5; la sequenza ricomincia un'altra volta quando viene resettato l'integrato.

Effetti di luce

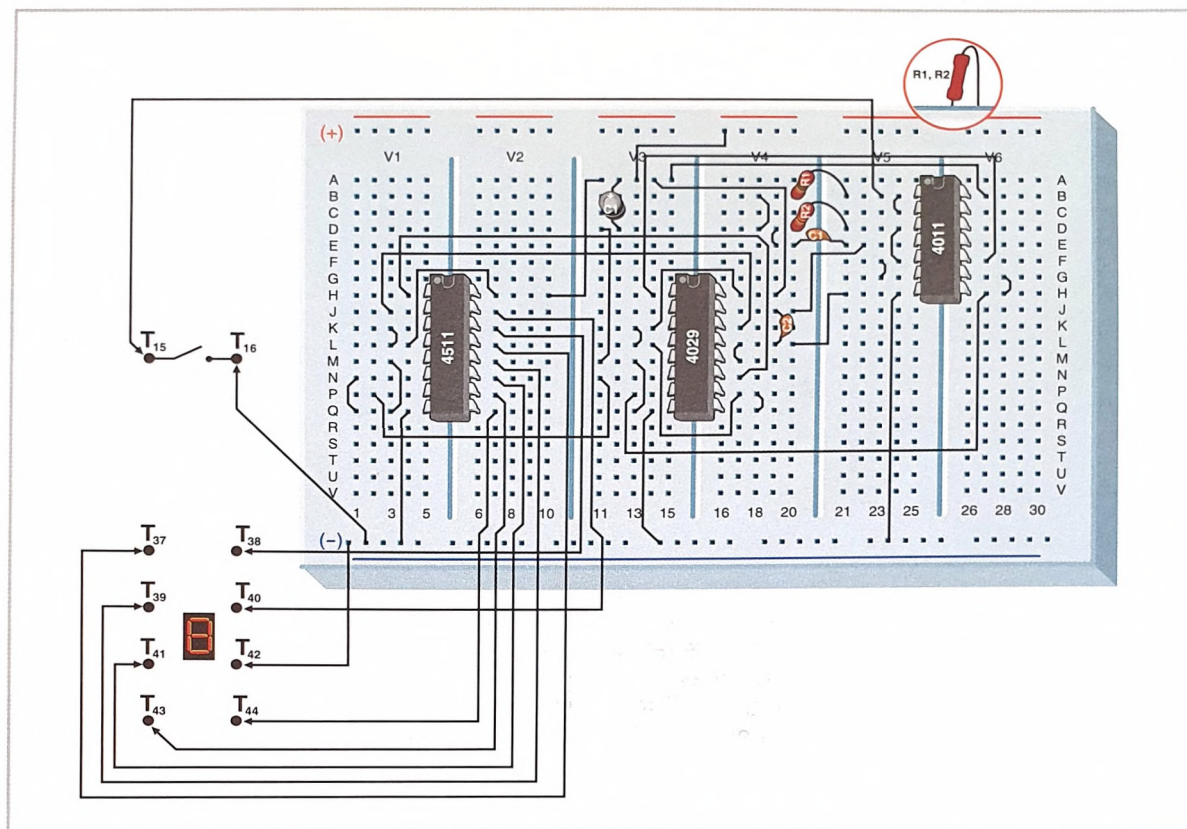
Funzionamento

Con l'alimentazione collegata, il circuito oscillerà e il 4017 inizierà ad attivare le proprie uscite una dopo l'altra seguendo la sequenza

Varianti per il gioco di luci

COMPONENTI	
R1	47 K
R2	10 K
R3	1M
R4	2K2
P1	100 K
C1	47 nF
U1	4049
U2	4017
LD1 a LD8	

indicata poc'anzi. Se la velocità è quella massima, non potremo vedere il movimento dei LED che rimarranno illuminati quasi costantemente. Se vogliamo vedere il cambiamento da un LED al successivo, dovremo regolare il potenziometro al suo massimo valore, cosicché l'oscillatore riduca la propria frequenza di uscita e la velocità del movimento diminuisca. Potremo utilizzare anche le uscite Q8 e Q9, ma in questo caso Q8 è utilizzato per resettare e il conteggio non arriva mai a Q9. A tale scopo, basterà togliere la connessione al terminale 15. Invece, se volessimo usare meno uscite, l'ultima uscita che non viene usata dovrà venire collegata al terminale 15. Possiamo lasciare anche delle uscite inutilizzate: avremo così degli istanti senza illuminazione.

Grazie al cablaggio adeguato e alle connessioni dei diodi LED e del Reset, possiamo ottenere diversi effetti.

Dado digitale a lettura diretta

Sul display possiamo leggere il risultato del tiro.

Sul display appare un numero qualsiasi compreso tra l'1 e il 6: sei, infatti, sono le facce di un dado cubico. Il circuito si basa su un contatore, di cui applichiamo le uscite a un driver. Quest'ultimo controlla, a sua volta, l'accensione dei LED di un display a sette segmenti. Per effettuare il tiro del dado, basta agire sul pulsante per far avviare l'oscillatore, di modo che con un pulsante manuale sia impossibile predire il numero che apparirà sullo schermo, perché l'oscillatore è stato intenzionalmente progettato per avere una frequenza elevata.

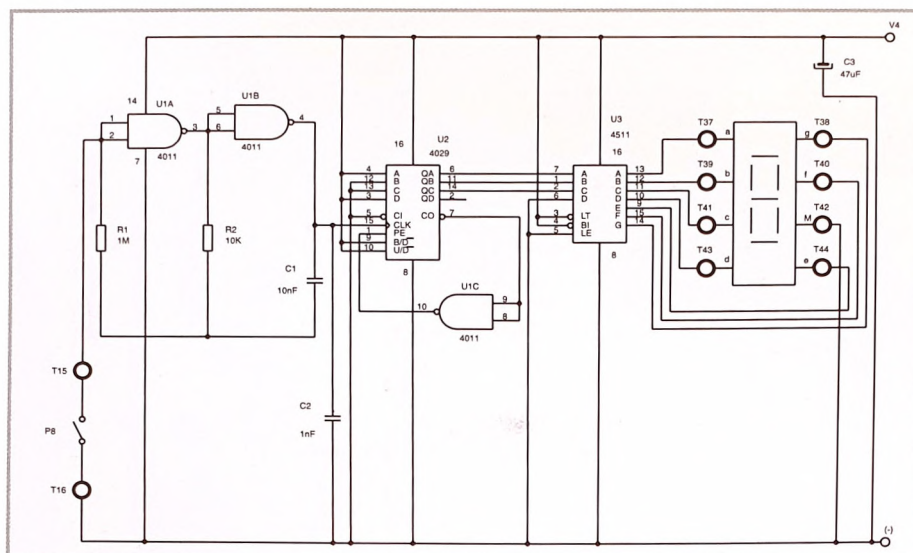
Il circuito

Il circuito base è un contatore – realizzato con un 4029 – collegato ad un oscillatore avente una frequenza abbastanza elevata da non poter essere seguita dall'occhio umano. Il conteggio da 9 = 1001 a 15 = 1111 è la base del funzionamento; approfittiamo del 15 per caricare nuovamente il numero 9, agendo con l'uscita di CO sull'entrata PE per rieffettuare il carico. Se osserviamo il circuito, l'uscita QD è libera, per cui quello che effettivamente viene rappresentato sullo schermo quando il contatore dà un 9 binario è 001 = 1, mentre quando dà un 14 binario è 110 = 6. Riusciamo in questo modo ad avere all'uscita i sei numeri che un classico dado potrebbe dare: li possiamo vedere sul display. Il contatore si ferma quando si preme il pulsante P8 e si legge il risultato del tiro; quando si rilascia P8, continua a contare all'infinito.

L'esperimento

Per realizzare l'esperimento si utilizza un integrato contatore 4029, configurato per contare nel sistema binario e in modalità ascendente; ha, quindi, le entrate B/D e U/D a livello alto. Delle quattro uscite di cui dispone, QA-QD, per mostrare il codice binario corrispondente ai numeri da 1 a 6 sul display, se ne utilizzano solamente tre. Secondo questa ipotesi, quando il contatore arriva alla

Il risultato è aleatorio

Dado digitale a lettura diretta

COMPONENTI	
R1	1M
R2	10 K
C1	10 nF
C2	1 nF
C3	47 μF
U1	4011
U2	4029
U3	4511
DISPLAY	
P8	

fine del conteggio, quando arriva cioè a (1111), l'uscita CO invertita (trasporto di uscita) sarà quella incaricata di effettuare il carico del primo numero del conteggio – in questo caso il 9. Dato che questa uscita è attiva a livello basso e il carico viene effettuato tramite PE a livello alto, mediante U1C, invertiamo l'uscita. Perché il primo numero dell'uscita risulti essere 9, abbiamo collocato le entrate A e D a livello alto e le entrate B e C a livello basso. L'oscillatore rimarrà attivo dal momento in cui lo colleghiamo all'alimentazione, per cui il pulsante lo deve arrestare e questa operazione viene realizzata collegando l'entrata di U1A al negativo dell'alimentazione.

Azionando il pulsante, il numero del tiro verrà visualizzato.

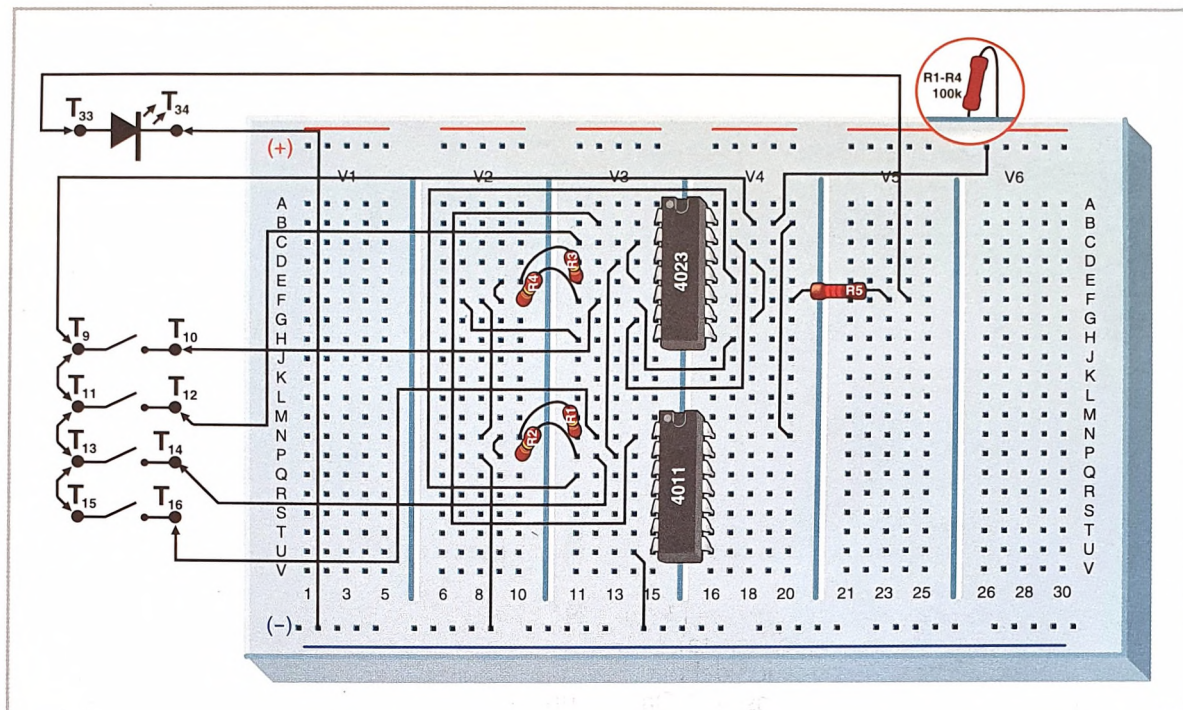
Avviamento

Con l'alimentazione collegata, il contatore deve funzionare rapidamente, per cui vedremo sul display tutti i segmenti illuminati. Quando si preme il pulsante, deve fermarsi su un numero. Se non funzionasse, dovremo verificare che il 4011 e il 4511 siano ben collegati all'alimentazione e che l'uscita di U1B sia collegata all'entrata del clock del contatore, terminale 15.

Verifica

Per verificare questo circuito come dado se ne deve verificare il funzionamento, dobbiamo, cioè, essere sicuri che il contatore conti tutti e sei i numeri. Per facilitare la verifica, si collega in parallelo con il condensatore C1 un altro condensatore da 22 nF; con ciò, il conteggio che appare sul display avviene più lentamente, dandoci tutto il tempo necessario per poter vedere i sei numeri. Quello che abbiamo fatto è stato abbassare la frequenza dell'oscillatore; dopo aver verificato che il tutto funziona bene, togliamo quest'ultimo condensatore.

Sistema di votazione speciale

E' un esempio di applicazione della semplificazione delle funzioni logiche.

Il circuito è una speciale applicazione teorica, ma potrebbe corrispondere a un caso reale: deve soddisfare una condizione di maggioranza tra i diversi membri di un comitato di votazione, tenendo conto del fatto che essi hanno un diverso peso nella votazione. Si potrebbe vedere come, a partire dalle condizioni imposte, si ottiene l'equazione che poi andrà passata a un circuito logico.

Il problema

Pianifichiamo il montaggio dal punto di vista del progetto. Supponiamo che in una università sia stato deciso di formare un comitato per prendere delle decisioni importanti. Il comitato è composto da un decano (D), un rettore di dipartimento (R), un professore (P) e uno studente (E). La maggioranza è formata dai 2/3 dei voti che, però, vanno ripartiti come segue:

(D) = 4 voti
(R) = 4 voti
(P) = 3 voti
(E) = 1 voto

Utilizzando porte a tre entrate, ridurremo il circuito

Ogni membro del comitato dispone di un bottone da azionare per dire 'Sì' e da non premere per dire 'No'. Bisogna progettare un circuito in cui si accenda una lampadina se, e solamente se, il numero dei voti favorevoli supera il minimo necessario (2/3).

Pianificazione

Le variabili del nostro sistema sono molto chiare. Sono tutti i membri del comitato che collocheremo come parte delle entrate nella tavola delle verità. Se il totale della somma di tutti i voti è di dodici (4 + 4 + 3 + 1), per avere la maggioranza devono esserci, come minimo, 8 voti, per cui nella tavola useremo solo le combinazioni utili a soddisfare questa condizione. Le altre non le scriveremo neanche, così da abbreviare il tutto. L'assegnazione dei pulsanti è la seguente: D = P8, R = P7, P = P6 e E = P5.

Raggiungimento dell'equazione

Prima di iniziare, dobbiamo considerare l'equazione logica e la tavola delle verità. Adesso, e in

Sistema di votazione speciale

Equazione logica

$$S = DR\overline{P}\,\overline{E} + D\overline{R}PE + \overline{D}RPE + DRP\overline{E} + DR\overline{P}E + DRPE=$$

$$DR\overline{P}(\overline{E} + E) + D\overline{R}PE + \overline{D}RPE + DRP\,(\overline{E} + E)=$$

$$DR(P+ \overline{P}) + PE(D\overline{R} + DR) + \underline{DRPE}=$$

$$DR + PE(DR + DR + DR)= DR + PE(D+ R)=$$

$$DR + PED + PER= \overline{\overline{DR} \cdot \overline{DPE} \cdot \overline{RPE}}$$

COMPONENTI	
R1 a R4	100 K
R5	2K2
U1	4011
U2	4023
LD8	
P5 a P8	

Tavola delle verità

D	R	P	E	S
1	1	0	0	1
1	0	1	1	1
0	1	1	1	1
1	1	1	0	1
1	1	0	1	1
1	1	1	1	1

minitermini, otterremo direttamente l'equazione di uscita, per cui ciascuna delle sei uscite sarà prodotto delle variabili.

In seguito, prenderemo come fattore comune tra il quarto e l'ultimo termine le variabili D, R e P e tra il primo e il quinto termine le variabili D, R e /P. Dall'equazione risultante potremo prendere come fattore comune i termini D e R. Adesso, e con astuzia, raddoppieremo il termine che corrisponde all'ultima fila della tavola e lo prenderemo come fattore comune a P ed E. Quello che rimane tra parentesi è il termine di una porta OR tra D e R. Così, l'equazione logica si riduce considerevolmente, invertendola due volte per passare tutto alle porte NAND che sono quelle disponibili.

Ogni pulsante rappresenta una variabile d'entrata.

Sviluppo

La realizzazione del circuito passa per lo sviluppo di tutto il circuito grazie alle porte NAND, utilizzando a questo scopo un 4011, per la porta a due entrate e un 4023 per quella a tre entrate.

Semaforo

I tre diodi LED si illumineranno, proprio come un semaforo.

Il circuito mostra come costruire un simulatore di semaforo; uno di quelli utilizzati per regolare la circolazione stradale. Il controllo dei tempi del circuito si basa su un oscillatore astabile. La luce arancione viene imitata da un circuito addizionale realizzato con delle porte NOR.

Funzionamento

La frequenza che si è voluta riprodurre è quella di un semaforo: in stato di riposo, si illumina il rosso, poi dopo un determinato periodo di tempo, il verde e prima che quest'ultimo si disattivi, si attiva l'arancione, per un breve lasso di tempo; infine, si torna nuovamente al rosso. I tempi in cui ogni diodo è attivo sono abbastanza veloci da poter osservare il funzionamento del circuito, anche se sono sensibilmente più brevi rispetto ai tempi di un semaforo reale. Abbiamo scelto un lasso di tempo di circa 3 secondi per il LED rosso (LD8) e verde (LD6) e di circa 1 secondo per l'arancione (LD7). L'astabile collegato al 555 attiva direttamente i LED rosso e verde. Il monostabile è montato in maniera tale per cui LD7 (che simula l'arancione) si illuminerà per il periodo di tempo risultante dal tempo in cui il LED verde (LD6) è illuminato meno il tempo del monostabile. In realtà, i tre diodi LED sono rossi, ma vengono utilizzati per simulare il funzionamento, come abbiamo precedentemente detto.

Il tempo di accensione può essere controllato cambiando alcuni componenti

Il circuito

Il circuito è formato dai temporizzatori (U1, U2A-U2B) e da un paio di porte che lavorano come circuiti logici (U2C-U2B). Quando l'uscita dell'astabile è a un livello basso, il LED LD8 (che rappresenta la luce rossa del semaforo) si illumina; quando l'uscita passa a livello alto, si illumina il LED LD6 (il verde), che, a sua volta, attiva il temporizzatore monostabile, di modo che il LED LD7 (l'arancione del semaforo) si illuminerà sempre quando LD6 è attivo e quando non è attivo il temporizzatore monostabile. Perciò, il tempo in cui l'arancione rimane acceso sarà la differenza dei tempi, come già abbiamo descritto.

COMPONENTI	
R1,R5	100 K
R2	33 K
R3, R4, R6	2K2
C1	47 µF
C2	22 µF
D1	1N4148
U1	555
U2	4011
LD6, LD7, LD8	

Stabiliamo i tempi di accensione

I tempi di illuminazione dei LED LD6 (verde) e LD8 (rosso) vengono stabiliti dalla rete R1-C1 e R2-C1 indipendentemente dalla collocazione del diodo D1 in parallelo con R2. Il tempo dell'arancione viene stabilito dalla differenza tra i tempi, dato che la porta U2C non attiverà l'uscita mentre il monostabile è attivo. Il valore teorico dei tempi può essere calcolato mediante la seguente formula:

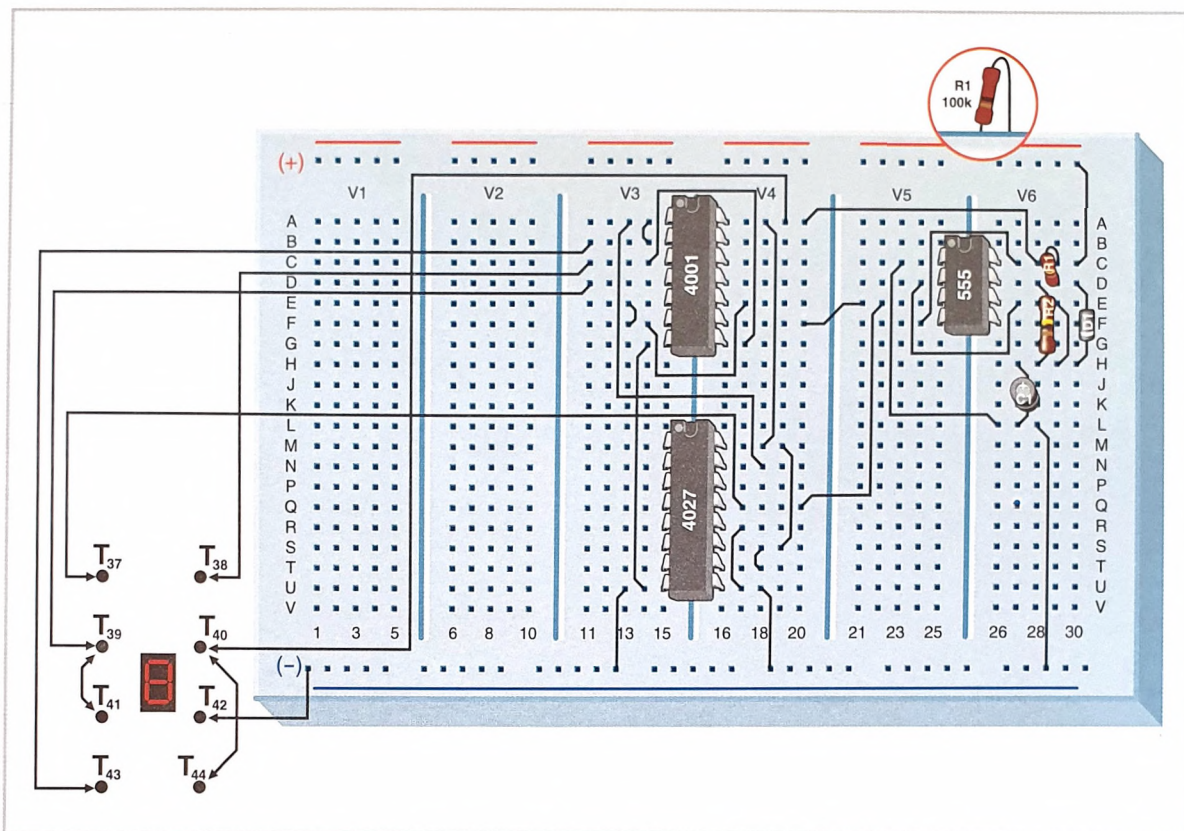
T verde = 0,69R1C1
T rosso = 0,69R2C1
T monostabile = 1,2R5C2 ==>
T arancione = T verde – T arancione

I tempi di accensione di tutti i diodi LED sono prefissati, anche se possiamo facilmente modificarli.

Avviamento

Con l'alimentazione collegata al circuito, quest'ultimo deve poter funzionare seguendo la sequenza stabilita in un tempo massimo inferiore ai 7 secondi. Se così non fosse, scollegheremo rapidamente l'alimentazione e verificheremo le connessioni di tutto il montaggio, cominciando dall'alimentazione degli integrati e continuando con la polarità dei condensatori e dei diodi.

Testo luminoso in sequenza

Facciamo la "Hola" sul display.

In questo esperimento utilizziamo il display per rappresentare in sequenza diverse lettere alfabetiche e formare una parola, che in questo caso è una parola di saluto.

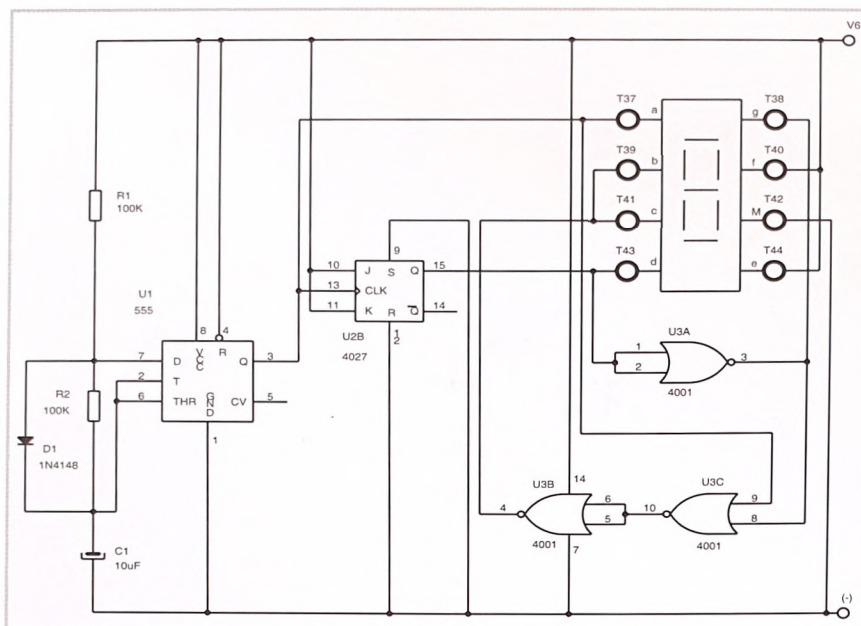
Funzionamento

Il circuito è costituito da un oscillatore astabile montato su un 555, un flip-flop T e delle porte logiche. Con questi componenti possiamo generare tutti i segnali necessari ad attivare ordinatamente i segmenti del display a sette segmenti che formano la parola 'HOLA'. L'oscillatore, realizzato con il 555, è un astabile, anche se un po' particolare dato che le resistenze che determinano i tempi di uscita a livello alto e a livello basso – rispettivamente T1 e T2 – sono indipendenti. Per il calcolo di T1, cioè, ci interessa solamente la resistenza R1 e per quello di T2 solo R2. Riusciamo ad avere questo effetto inserendo il diodo D1.

Sul display appare la scritta 'HOLA'

Il circuito

Per capire il circuito, conviene consultare la tavola in cui sono indicati con '1' i segmenti da attivare per illuminare la corrispondente lettera e con '0' quelli che dovranno rimanere spenti. Si può vedere che i segmenti 'e' ed 'f' saranno sempre '1' – e per questo saranno permanentemente collegati al positivo dell'alimentazione –. I segmenti 'b' e 'c' sono uguali e, quindi, vengono uniti. I segmenti 'd' e 'g' sono inversi e di conseguenza uno è l'inverso dell'altro. Rimangono, allora, solamente tre segmenti: 'a', 'd' e 'b', che è uguale a 'c'. Osservando nuovamente la tavola, possiamo vedere che b = c è la somma dei valori di 'a' e 'd': è stata, perciò, inserita una porta OR: NOR + INVERTENTE. Adesso abbiamo solamente i segmenti 'a' e 'd' che devono seguire esattamente la sequenza indicata nel testo (00, 11, 01, 10). A tale scopo, abbiamo disposto un oscillatore e i flip-flop J e K,

Testo luminoso in sequenza

COMPONENTI	
R1, R2	100 K
C1	10 µF
D1	1N4148
U1	555
U2	4027
U3	4001
DISPLAY	

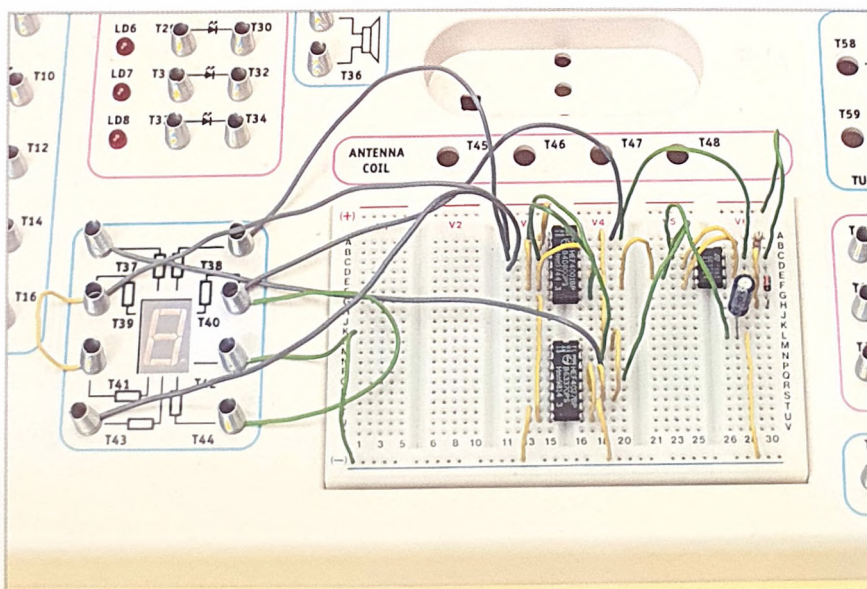
	a	b	c	d	e	f	g
H =	0	1	1	0	1	1	1
O =	1	1	1	1	1	1	0
L =	0	0	0	1	1	1	0
A =	1	1	1	0	1	1	1

configurati per lavorare in modalità T. Collegheremo l'uscita dell'oscillatore astabile direttamente al segmento 'a' e l'uscita del flip-flop T al segmento 'd'.

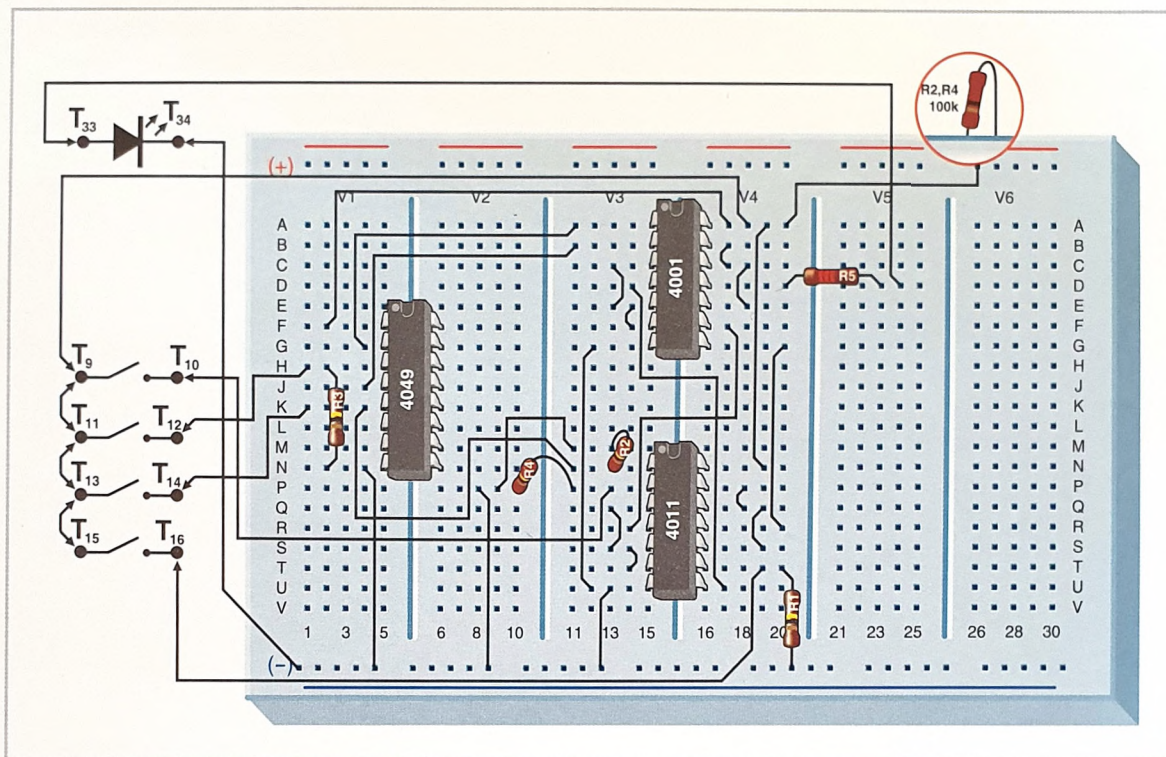
Avviamento

Non dobbiamo fare altro che collegare il circuito all'alimentazione: in questo modo sul display dovrebbe apparire la scritta 'HOLA'. Se non dovesse apparire, dovremo verificare tutte le connessioni – naturalmente solo dopo aver scollegato l'alimentazione! Dovremo controllare anche la polarità del diodo D1 e quella del condensatore elettrolitico C1. Potrebbe succedere che la prima lettera non sia la 'H', ma speriamo che sia così. Per far 'passare' la scritta più rapidamente, abbasseremo il valore del condensatore, mentre faremo viceversa se vorremo che 'passi' più lentamente.

Esperimento

Una buona esercitazione pratica consiste nel togliere il diodo D1. Potremo così verificare velocemente l'effetto prodotto nel periodo di tempo dal segnale di uscita dell'astabile. Vedremo che il tempo d'accensione del display aumenta perché, adesso, su di esso influiscono R1 e R2. Facendo così, le vocali della scritta rimarranno accese più a lungo.

Sul display, lettera per lettera, appare la scritta 'HOLA'.

Esperimento di semplificazione grafica

Con il metodo di Karnaugh si semplifica una funzione.

In questo esperimento definiremo una serie di condizioni che il circuito deve soddisfare per poter essere attivato: otterremo una tavola della verità e un'equazione logica, che dovremo poi ridurre.

Partendo dalla tavola della verità e semplificando con il metodo di Karnaugh, otterremo l'equazione ridotta.

Il problema

Analizziamo il circuito dal punto di vista del progetto: abbiamo un motore – lo simuleremo con un diodo LED – che si deve attivare quando i quattro sensori A, B, C e D (rappresentati da quattro pulsanti) soddisferanno le seguenti condizioni:

A e C disattivati; B e D attivati
A, B e C disattivati; D attivato
A e B disattivati; C e D attivati
A e C attivati; B e D attivati
A, C e D attivati; B disattivato
A e D attivati; B e C disattivati
A, B e C attivati; D disattivato
A, B, C e D attivati
A, B e D attivati; C disattivato.

Tavola della verità

Dopo aver perfettamente definito le quattro variabili, passeremo a rappresentare direttamente la tavola della verità, a seconda delle condizioni che il problema impone. La tavola della verità sarà la base per rappresentare i termini nella tavola di Karnaugh e portare a termine la semplificazione.

Tavola di Karnaugh

Lasciamo che sia il lettore a passare i dati alla tavola della verità e da questa alla tavola di Karnaugh. Possiamo vedere che ci sono tre gruppi di quattro variabili ciascuno. Ciò significa che possiamo ridurre l'equazione da nove termini con quattro variabili ciascuno (otteniamo direttamente l'equazione dalla tavola della verità) a tre termini di due variabili. In questo modo riusciamo a realizzare una notevole semplificazione di termini, che si traduce in una considerevole riduzione delle porte del circuito.

Riduzione delle porte.

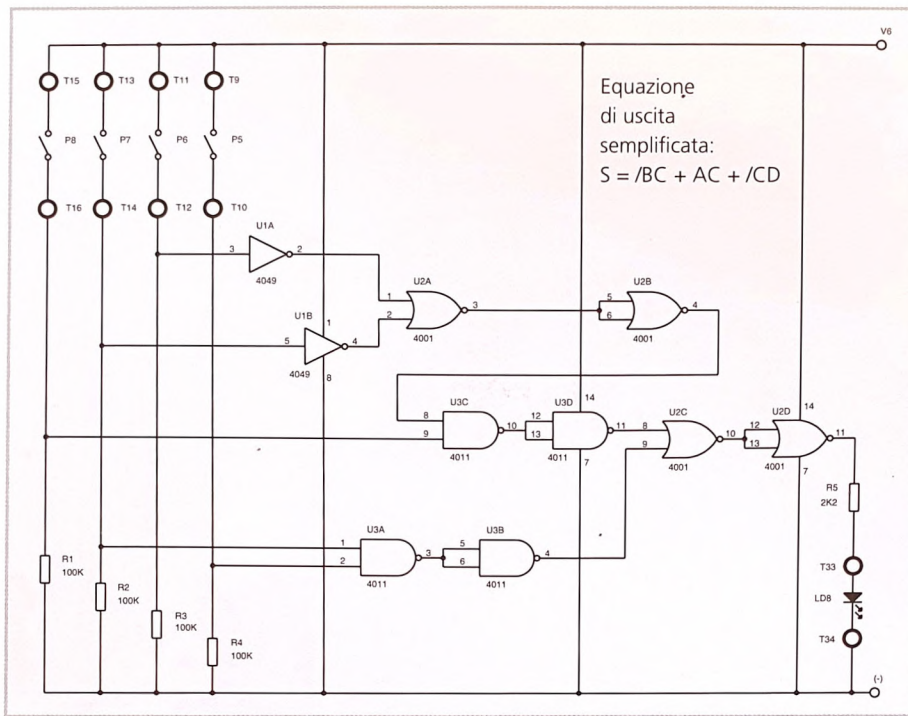
Esperimento di semplificazione grafica

COMPONENTI	
R1 - R4	100 K
R5	2K2
U1	4029
U2	4001
U3	4011
LD8	
P5 a P8	

Tavola delle verità

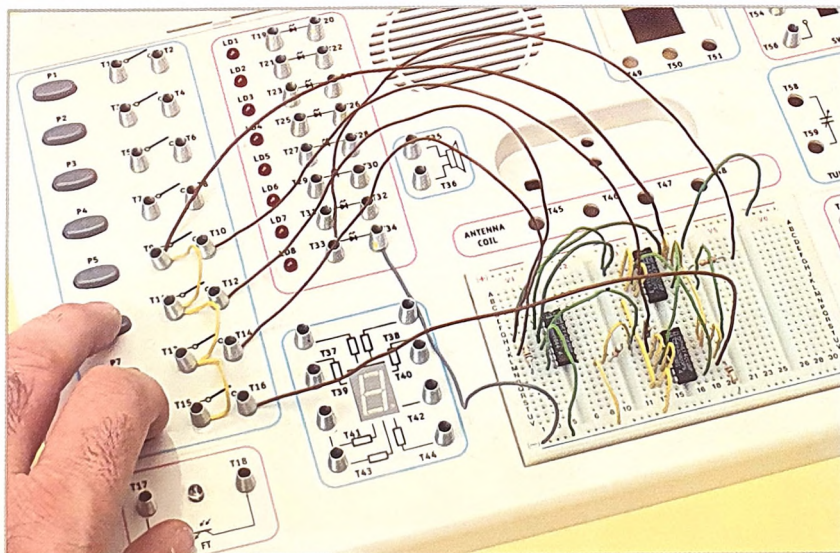
A	B	C	D	S
0	0	0	1	1
0	0	1	1	1
0	1	0	1	1
1	0	0	1	1
1	0	1	0	1
1	0	1	1	1
1	1	0	1	1
1	1	1	0	1
1	1	1	1	1

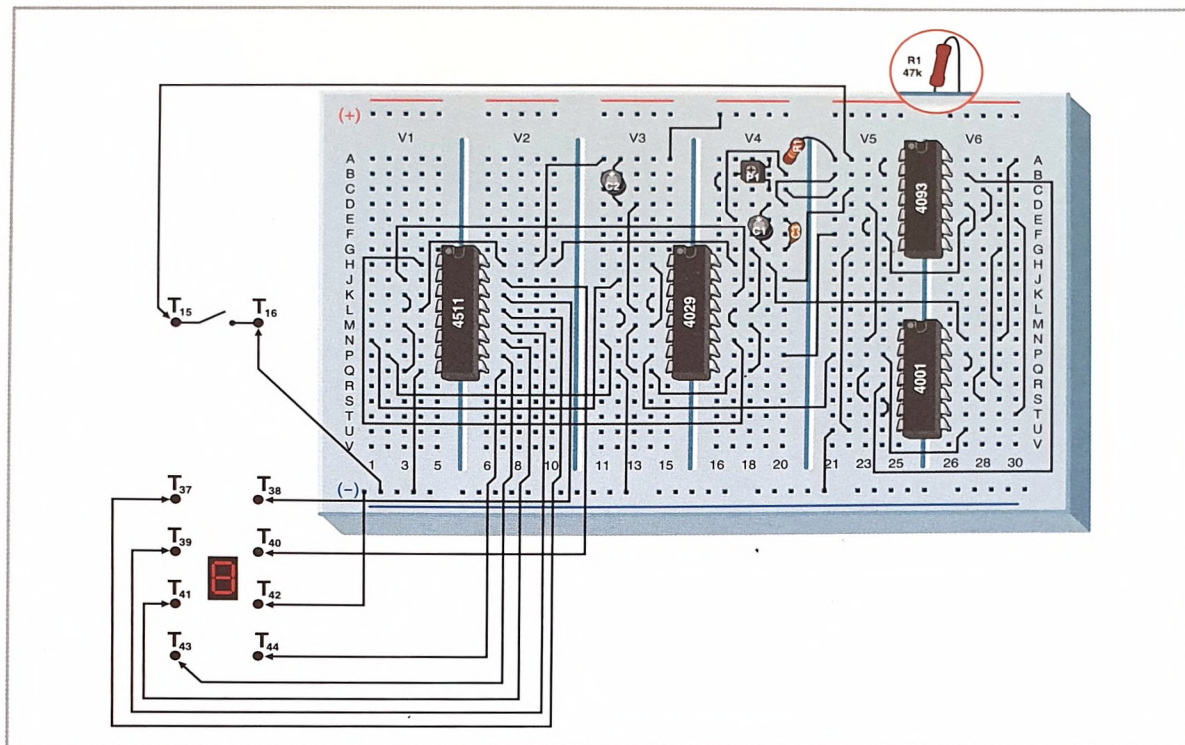
Avviamento

Una volta collegata l'alimentazione al circuito, il diodo LED deve rimanere spento perché la combinazione di tutte le entrate a '0' non è stata contemplata nella tavola della verità. Con i pulsanti (P8 = A, P7 = B, P6 = C e P5 = D) azionati secondo le condizioni imposte nel progetto, il diodo LED si deve illuminare. Se così non fosse, dobbiamo scollegare l'alimentazione del circuito e verificare l'alimentazione dei tre integrati, oltre che la polarità del LED. È importante che ogni pulsante sia collegato come la corrispondente variabile indica perché in caso contrario non coinciderebbe con la tavola della verità.

Ogni pulsante rappresenta una variabile d'entrata.

Problemi

Il circuito deve funzionare; se non funziona, dovremo rivedere tutte le connessioni, le batterie e verificare che le porte siano funzionanti correttamente. Può verificarsi un altro problema: non sappiamo come arrivare al circuito definitivo e malgrado tutti i nostri sforzi non riusciamo a completare il diagramma di Karnaugh. Spiegheremo dettagliatamente il perché nel paragrafo 'TEORIA 32'.

Indicatore del tempo di reazione

Verifica la prontezza dei riflessi.

Il circuito incrementa e decrementa il conteggio automaticamente da zero a nove, ad una velocità regolata dal potenziometro P1. Azionando il pulsante, si cerca di fermare il conteggio a 5.

Funzionamento

Per un corretto funzionamento del circuito è importantissima la selezione della frequenza dell'oscillatore. Se la frequenza è molto bassa, sarà facilissimo fermare il conteggio a 5. Al contrario se la velocità fosse troppo alta, non potremmo distinguere i numeri e sarebbe impossibile verificare la prontezza di riflessi. La selezione della frequenza corretta ci consente di vedere chiaramente tutti i numeri dallo 0 al 9 sia in modalità ascendente che discendente, anche se scorrono abbastanza velocemente da aver bisogno di una buona capacità di reazione per poter fermare il conteggio al numero voluto. Inizialmente, possiamo incominciare con una velocità bassa e, poi, aumentare gradatamente la frequenza dell'oscillatore fino al suo limite massimo.

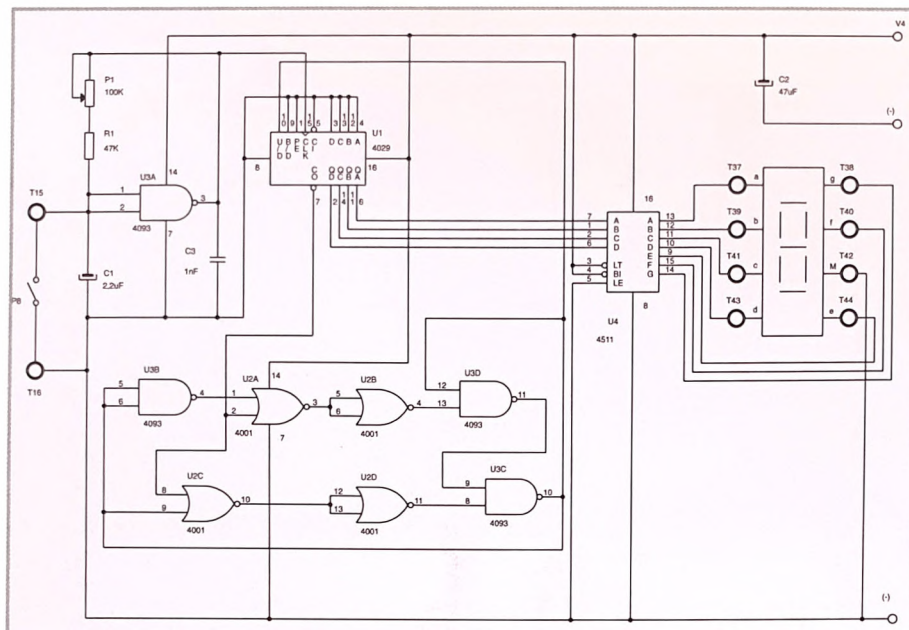
Il pulsante ferma il conteggio

Il circuito

Il circuito è costituito da diverse parti ben differenziate. Con la porta NAND U3A otteniamo la frequenza del clock del circuito, che stabilisce la velocità con la quale cambia ciascun numero. L'oscillatore si ferma quando azioniamo il pulsante P8 e prosegue il conteggio quando lo lasciamo libero. Il segnale del clock viene applicato direttamente al circuito del contatore 4029, configurato per lavorare nel sistema decimale. Esiste una circuiteria elettronica formata dalle porte U3B, U3C, U3D e da tutte le altre porte U2, che si incarica di stabilire la modalità di conteggio, ponendo il terminale U/D a livello alto piuttosto che basso. Per rappresentare i numeri del conteggio, l'uscita del contatore viene applicata al decodificatore a sette segmenti collegato al display.

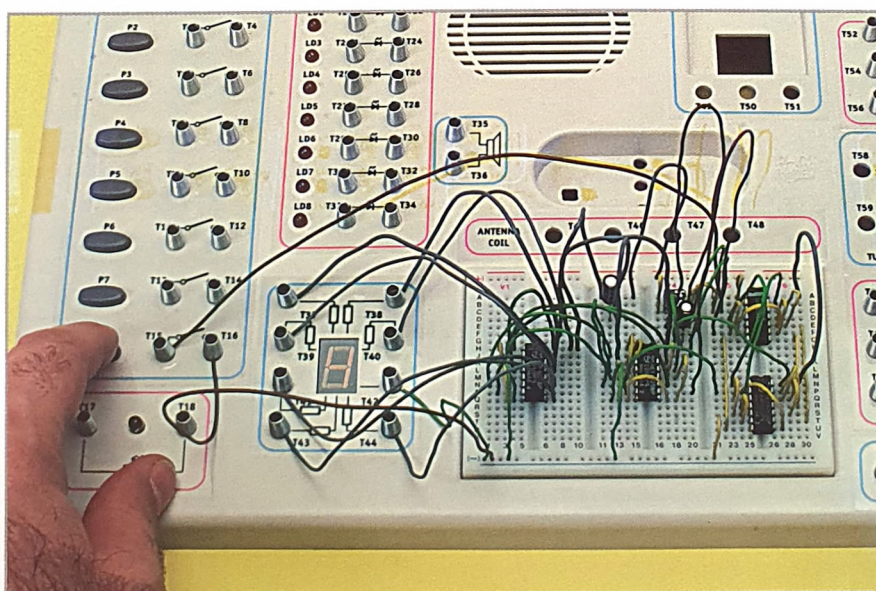
Logica del controllo

Per capire la logica del controllo dobbiamo ricordare il funzionamento del segnale /CO del contatore che conta nel sistema BCD. Il segnale si attiva in modalità

Indicatore del tempo di reazione

COMPONENTI	
R1	47 K
P1	100 K
C1	2,2 µF
C2	47 µF
U1	4029
U2	4001
U3	4093
U4	4511
DISPLAY	
P8	

ascendente, passando a livello basso quando l'uscita del contatore arriva a 9. In questo stato U/D = 1.

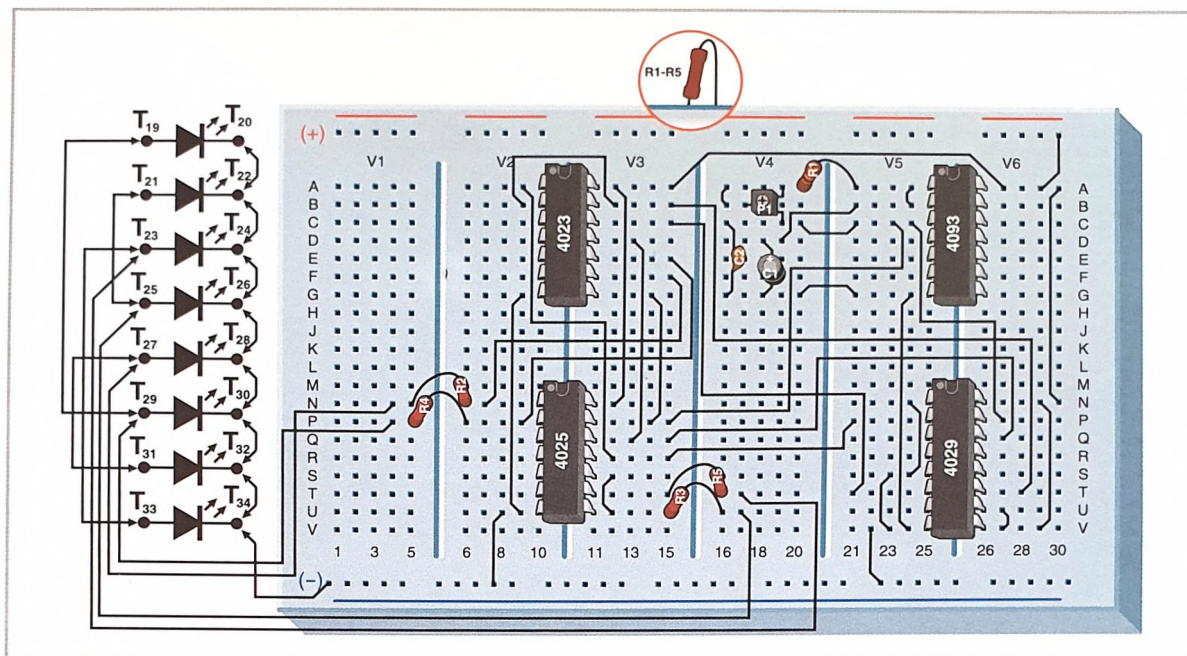
Invece, quando il contatore conta in modalità discendente U/D = 0, il segnale /CO si attiva passando a livello basso quando il contatore giunge a 0.

Le porte U3C e U3D costituiscono i flip-flop R-S la cui uscita, terminale 10 di U3C, è direttamente collegata al terminale U/D. I suddetti flip-flop sono a '1' quando viene rilevato che il contatore, in modalità discendente, arriva a '0' (fine del conteggio); in questo modo, il contatore si pone in modalità ascendente. I flip-flop sono a '0' quando viene rilevato che il contatore, in modalità ascendente, arriva a '9' (fine del conteggio); in questo modo, il contatore si pone in modalità discendente.

Si cerca di fermare il conteggio a un numero prestabilito.

Messa in funzione

Anche se laboriosa, la messa in funzione del circuito non è difficile. Si deve stare attentissimi a non confondere le connessioni. È molto importante, inoltre, collegare bene l'alimentazione degli integrati e dei piedini di controllo LT, BI e LE. Dobbiamo assicurarci, infine, che il terminale comune del display, terminale della molla 42, sia collegato al negativo dell'alimentazione.

Combinazione di luci

I diodi si illuminano secondo una strana sequenza.

In questo esperimento si utilizza un circuito suscettibile di molte modifiche. Le porte a tre entrate possono venire collegate in diversi modi alle differenti uscite del contatore 4029 e al segnale del clock dell'oscillatore, e ciò al fine di illuminare diodi LED differenti a seconda delle connessioni realizzate. Nello schema indichiamo una delle varie possibilità; le altre sono tutte da sperimentare.

Il circuito

Il circuito è un poco strano. Da una parte, abbiamo cinque segnali di clock. Uno tra i cinque, è quello dell'oscillatore propriamente detto. Quest'ultimo è montato su una porta NAND Trigger Schmitt U1A, mentre gli altri quattro derivano dalle uscite del contatore collegato al segnale del clock di cui parlavamo poco fa. Le uscite QA, QB, QC e QD hanno le seguenti frequenze: 1/2, 1/4, 1/8 e 1/16 rispetto alla frequenza dell'oscillatore d'entrata. Tutti questi segnali del clock vengono collegati all'altra parte del circuito (costituita da porte NAND e NOR a tre entrate). In questo modo, l'uscita della porta NAND passerà dal livello alto al livello basso quando tutte le altre entrate coincidono con '1' e l'uscita della porta NOR passerà dal livello basso a quello alto quando tutte le sue entrate sono pari a '0'.

Possiamo regolare con P1 la frequenza del clock

Funzionamento

Il circuito deve funzionare semplicemente collegando l'alimentazione: i LED si accendono e si spengono. Variando il valore di P1, si cambia la velocità di lampeggiamento. Infatti, per mezzo di questo potenziometro, viene stabilita la frequenza base da cui derivano tutte le altre.

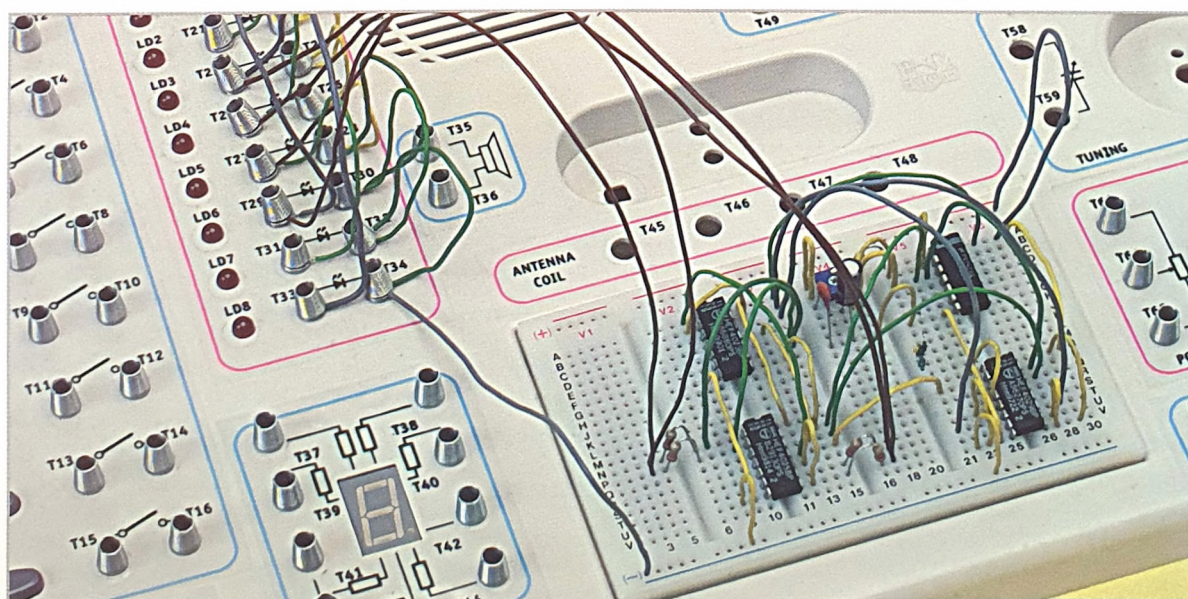
Messa in funzione

Tra tutti i componenti del montaggio, possiedono una polarità solamente il condensatore C1 e i diodi LED; dovremo, quindi, prestare particolare attenzione alle loro connessioni. Dei rimanenti elementi, solamente i circuiti integrati hanno dei terminali d'alimentazione ben definiti e che dovremo rispettare per evitare di distruggere il circuito integrato. Se abbiamo rispettato tutte le connessioni, il circuito dovrebbe funzionare senza alcun problema, sempre che non abbiamo dimenticato di inserire il condensatore da 1nF all'entrata del clock del contatore.

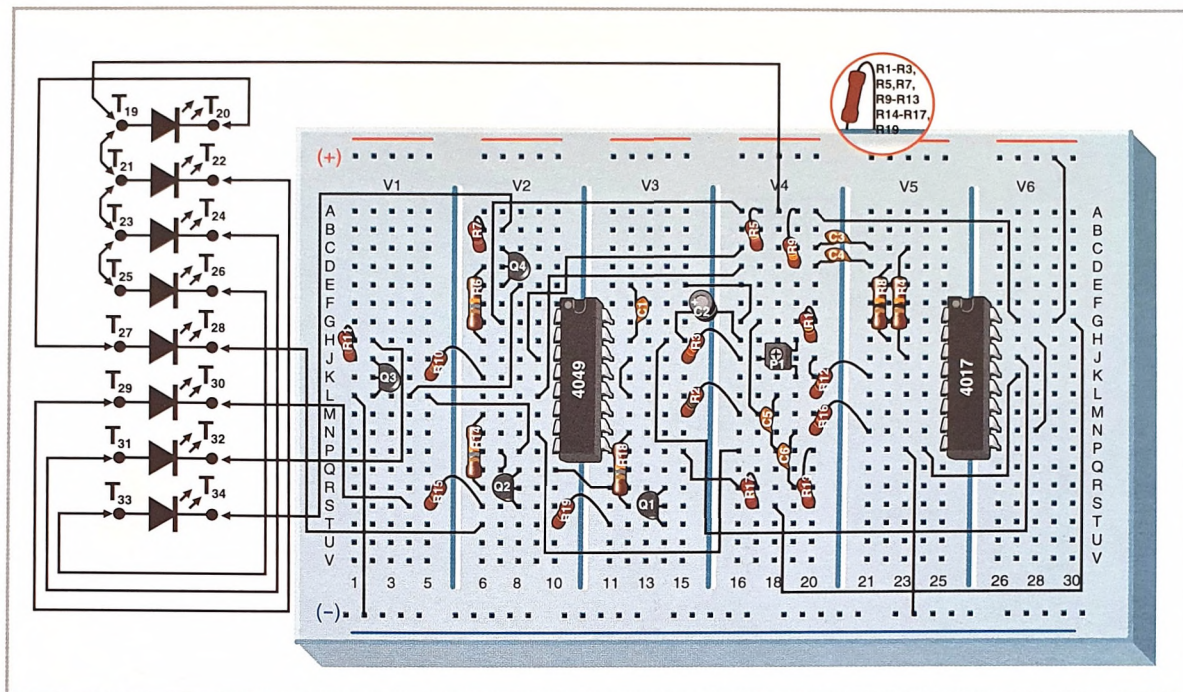
Combinazione di luci

COMPONENTI	
R1	10 K
R2 a R5	2K2
P1	100 K
C1	1 µF
C2	1 nF
U1	4093
U2	4029
U3	4023
U4	4025
LD1-LD8	

Esperimento

Abbiamo già avuto modo di far rilevare che le connessioni delle diverse porte logiche non seguono nessuna logica fissa; possiamo, allora, connettere come vogliamo le varie entrate ed uscite. L'unica considerazione di cui dobbiamo sempre tenere conto è che non dobbiamo mai collegare tra di loro due uscite, siano esse di porte logiche o del contatore. Possiamo anche aggiungere uno o più circuiti oscillatori da collegare alle diverse entrate delle porte. In questo caso, riveste un certo interesse l'eventualità in cui ogni oscillatore possieda una frequenza diversa rispetto a quella degli altri. Se vogliamo cambiare la frequenza dell'oscillatore del montaggio, basterà cambiare il valore della resistenza R1 e/o il valore del condensatore C1.

Le porte NOR rilevano gli '0', mentre le porte NAND gli '1'.

Indicatore del senso del movimento

La sequenza di accensione dei LED indica il senso del movimento.

In alcuni punti pericolosi delle strade abbiamo avuto modo di vedere degli indicatori luminosi che indicano la direzione che i veicoli devono seguire. In questi indicatori, la luce, spostandosi dall'inizio alla fine, dà una sensazione di movimento. Il circuito che vedremo ci permetterà di realizzare uno spostamento dei LED simile a quello degli indicatori stradali.

Il circuito

Se studiamo lo schema, vediamo che le due porte invertenti, U1E e U1F, sono state utilizzate per costruire un oscillatore, di cui regoleremo la frequenza con P1. L'uscita di questo oscillatore viene impiegata come segnale del clock di un contatore 4017 di cui utilizzeremo soltanto le uscite da Q0 a Q3; Q4, quindi, sarà direttamente collegata al RESET, terminale 15, cosicché, essendo attiva, fa ricominciare il contatore e il conteggio riparte da Q0. Le uscite attive, Q0, Q1, Q2 e Q3, sono collegate a quattro monostabili per alcuni millisecondi, periodo di tempo sufficiente perché il transistor si colleghi alla sua base e produca un lampo nei diodi LED collocati in serie nel collettore. Il lampo è luminosissimo perché la resistenza limitatrice della corrente è piccola; la corrente di conseguenza è elevatissima e possiamo considerare il LED come un lampeggiatore con una durata brevissima di illuminazione.

Un monostabile determina la durata del lampeggio

Funzionamento

Con l'alimentazione collegata, il circuito oscillerà; il 4017 inizia ad attivare le proprie uscite in maniera contigua e seguendo la sequenza indicata prima. La velocità di spostamento dei LED illuminati è importantissima, perché se fosse molto elevata, i LED si accenderebbero uno dopo l'altro sovrapponendosi, senza che se ne possa apprezzare l'effetto di spostamento. Per riuscire a vedere i LED accendersi, dobbiamo regolare P1 in maniera tale che il periodo del segnale dell'oscillatore sia maggiore rispetto al tempo del monostabile. Tanto minore è la frequenza dell'oscillatore, tanto più il movimento sembrerà lento; va però detto che così non riusciremo a raggiungere l'effetto voluto.

Messa in funzione

Indipendentemente dalla posizione del cursore di P1, il circuito

Indicatore del senso del movimento

COMPONENTI	
R1	100 K
R2	1M
R3	12 K
R4, R8, R12, R16	10 K
R5, R13, R17	270 K
R6, R10, R14, R18	18 K
R7, R11	82 Ω
R15, R19	100 Ω
R9	330 K
P1	100 K
C1	10 nF
C2	1 µF
C3 a C6	100 nF
Q1 a Q4	BC548
U1	4049
U2	4017
LD1 a LD8	

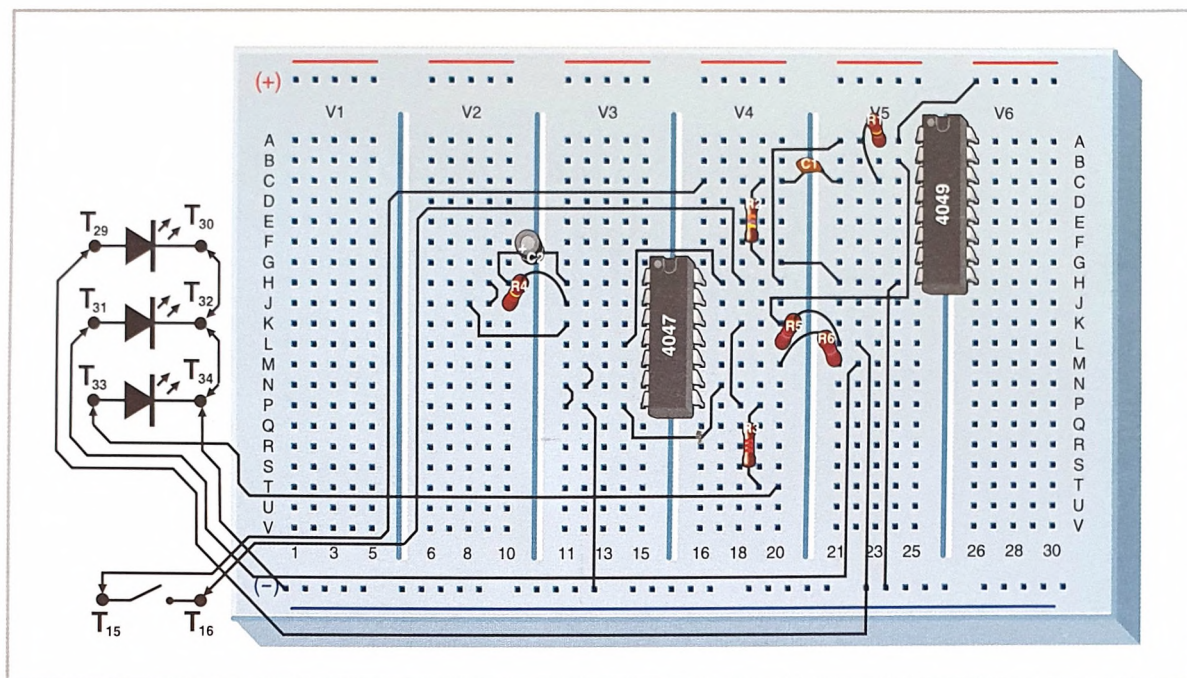
deve essere in grado di funzionare quando gli colleghiamo l'alimentazione. Se così non fosse, dovremo verificare tutti i componenti che possiedono polarità: C2, LED, i transistor da Q1 a Q4 e l'alimentazione dei due circuiti integrati. Dopo averli verificati, ne rivedremo tutte le connessioni per vedere se ne abbiamo dimenticata, o collocata male, qualcuna.

Il circuito indica il senso del movimento.

Esperimento

Per osservare l'effetto dei circuiti monostabili collocati alle uscite del contatore, da Q0 a Q3, è interessante cambiare qualche resistenza inserita vicino a qualcuno dei condensatori C3, C4, C5 e/o C6. Si può, per esempio, aumentare R5 e R9, e poi R4 e R8: noteremo che il LED rimane acceso per un periodo di tempo maggiore. Se ne diminuiamo i valori, diminuirà anche il tempo di accensione. Possiamo cambiare, inoltre, il grado di luminosità dei LED: basta ridurre il valore delle resistenze di base dei transistor o quello delle resistenze del collettore. Dobbiamo compiere questa operazione riducendo di poco i valori perché, se aumentiamo il tempo dell'impulso, dato che la corrente è elevata, i diodi LED possono venire distrutti. Anche lo stesso transistor può esserne distrutto.

Monostabile resettabile

Può riaccendersi quando ancora l'uscita è attiva.

Il 4047 può venire configurato anche come monostabile resettabile; quando riceve un nuovo impulso di reset, cioè, può iniziare nuovamente la temporizzazione, anche se non dovesse aver concluso la precedente temporizzazione.

Il circuito

Il circuito è costituito da due parti: la parte "eccitante" e il monostabile vero e proprio. Per realizzare lo stadio di accensione – o reset – abbiamo utilizzato un circuito che, quando premiamo P8, genera un unico impulso. L'impulso viene prodotto dalla scarica del condensatore C1 sulla resistenza R2. Il diodo LED LD8 consente di vedere più velocemente il flash che da origine al suddetto impulso e di poterlo percepire visivamente. Per configurare il 4047 come monostabile resettabile, è necessario unire tra di loro le entrate +T (trigger positivo) e RET (retrigger-reset). Ogni volta che si aziona il pulsante P8 e, nel terminale 2 della porta U1A viene prodotto un impulso, la temporizzazione si attiva. Con i valori che abbiamo assegnato a C2 e R4 essa è di circa 3 secondi.

La larghezza dell'impulso dell'uscita dipende dal segnale di reset

Funzionamento

Per verificare il reset, dovremo accendere quando l'uscita Q di U2 (terminale 10) è ancora attiva (perché è stato azionato P8), rischiacciare ancora P8 e prima che si disattivi (prima di 3 secondi) tornare allo stato iniziale. In questo modo, possiamo vedere come l'uscita rimane continuativamente attiva dato che il monostabile è stato resettato. Il reset si produce grazie al cambiamento da '0' a '1' perché lo abbiamo unito all'entrata +T (trigger positivo). Il tempo di attivazione dell'uscita è dato – come nel monostabile standard – dall'equazione: T = 2,5 x R4 x C2.

Messa in funzione

Il circuito, una volta collegata l'alimentazione, deve riuscire a funzionare senza problemi. Quando lo si fa, il LED LD7 deve rimanere spento, mentre il LED LD6 deve essere illuminato, perché tutte e due le uscite di U2 sono invertite. Quando si aziona P8, tutti e due i LED cambiano stato. Se non dovesse funzionare così, verificheremo la polarità del condensatore e dei LED, oltre all'alimentazione dei due integrati.

Monostabile resettabile

COMPONENTI	
R1	100 K
R2	47 K
R3	2K2
R4	220 K
R5, R6	2K7
C1	100 nF
C2	4,7 µF
U1	4049
U2	4047
LD6 a LD8	
P8	

Esperimento

L'esperimento principale da fare è cambiare i tempi della temporizzazione dell'uscita. Dovremo semplicemente variare il valore dei componenti da cui dipende il suddetto tempo: R4 e C2. Aumentarne il valore significa incrementare il tempo dell'uscita, mentre se lo diminuiamo, diminuiremo anche il tempo di temporizzazione dell'uscita.

Premendo P8, inizia la temporizzazione, anche se è già acceso.

Astabile con 4047

Il circuito genera un'onda quadra quasi perfetta.

Il circuito integrato 4047 possiede un oscillatore astabile che può essere configurato in diverse maniere. In questo montaggio vedremo un oscillatore astabile standard che genera un segnale con un fattore di forma del 50%: il periodo di tempo in cui il segnale è a livello alto e quello in cui è a livello basso è lo stesso. Anche l'integrato ha un'uscita con doppia frequenza.

L'astabile

Il 4047 possiede, inoltre, anche un controllo della temporizzazione che lo fa lavorare come oscillatore e che ha tre uscite: due sono invertite tra di loro e il loro ciclo di lavoro è del 50%, terminali 10 e 11, mentre la terza ha un ciclo di lavoro diverso.

Il circuito

Utilizzeremo il circuito consigliato dal costruttore come astabile standard. A tale scopo, dovremo collegare i terminali 4, 5, 6 e 14 al positivo dell'alimentazione; i terminali 7, 8, 9 e 12 li collegheremo alla massa; prenderemo le uscite dai terminali 10, 11 e 13. Per poter visualizzare le uscite abbiamo inserito tre diodi LED con le loro corrispondenti resistenze che limitano la corrente. I diodi LD7 e LD8 sono collegati a due uscite invertite, per cui, quando uno è illuminato l'altro è spento e viceversa. Collegheremo il LED LD6 all'uscita OSC di modo che la sua frequenza sia doppia rispetto alle frequenze degli altri due diodi. Il condensatore C3 filtra la tensione di alimentazione.

Funzionamento

Il segnale nelle uscite Q e /Q, corrispondente rispettivamente ai terminali 10 e 11, ha una frequenza di segnale pari a f = 1/(4,4 x R1 x C1), con un fattore di forma del 50%, per cui otterremo una frequenza di circa 0,7 Hz. Così potremo "vederla" grazie all'accensione e lo spegnimento dei LED. L'uscita OSC, corrispondente al terminale 13, ha un segnale di frequenza pari a f = 1/(2,2 x R1 x C1), giusto il doppio e di circa 1,4 Hz. Il segnale farà sì che il LED LD6 lampeggi molto più in fretta.

Ha un'uscita con un valore doppio rispetto a quello della frequenza

Messa in funzione

Se il circuito non funziona, rivedremo tutte le connessioni

Astabile con 4047

COMPONENTI	
R1	150 K
R2, R3, R4	2K2
C1	2,2 µF
C2	220 nF
U1	4047
LD6 a LD8	

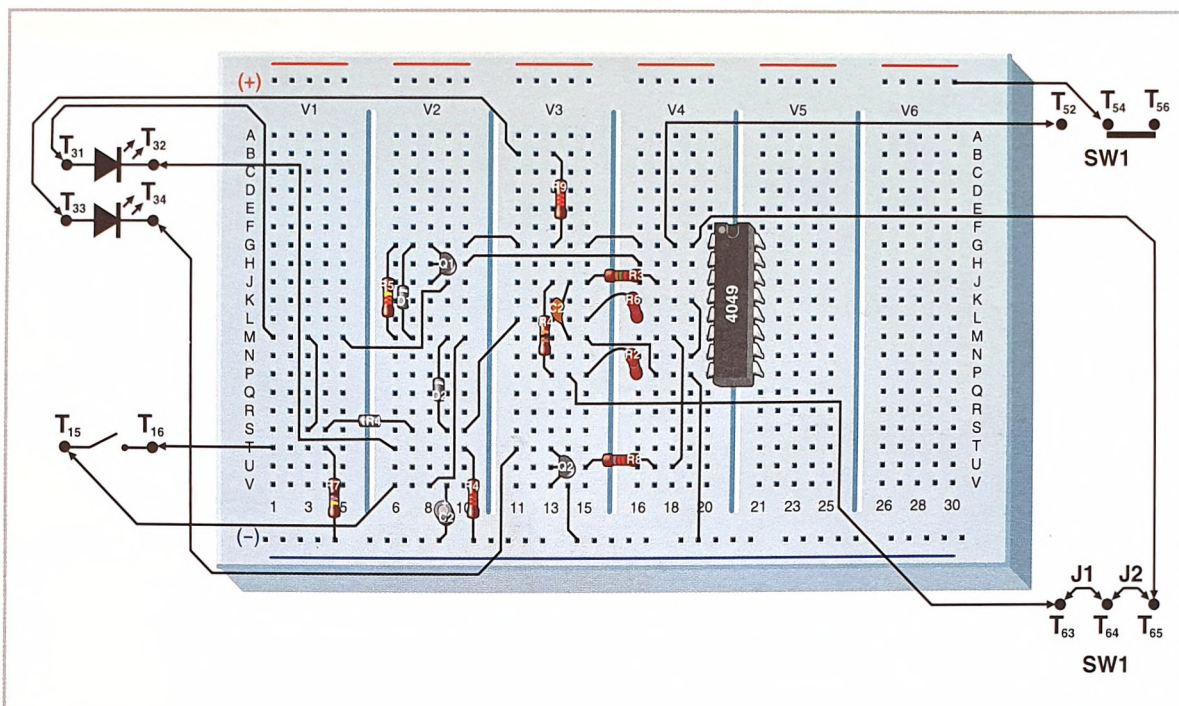
del montaggio, perché anche se solamente una di esse non fosse stata eseguita correttamente, il montaggio non potrebbe funzionare nella maniera adeguata. Dovremo fare particolare attenzione al condensatore elettrolitico e ai diodi LED: hanno la polarità e i loro terminali non possono essere scambiati.

Vedremo due diodi che si alternano e un altro diodo con la frequenza doppia.

Esperimento

Cambiando il valore dei componenti R1 e/o C1, possiamo variare la frequenza del circuito. Il periodo del segnale, infatti, è direttamente proporzionale ai loro valori, per cui la frequenza è inversamente proporzionale al valore del periodo del segnale. Se aumentiamo la frequenza, diminuendo i valori, i LED lampeggerebbero così rapidamente che ci sembrerebbero illuminati in modo continuo.

Allarme con temporizzazione

È un utilissimo circuito di allarme con un sistema completo di temporizzazione.

Questo circuito ha tutte le funzioni basilari di un allarme convenzionale. Ha diverse temporizzazioni, in modo tale da garantire un certo lasso di tempo che consente a una persona di uscire prima di attivarsi: permette anche di essere disattivato quando si rientra. Un diodo LED indica l'avvenuta attivazione.

Il circuito

I sensori del circuito sono stati rappresentati dai ponti J1 e J2; in stato di riposo saranno normalmente interdetti. Il circuito, anche se non sembra, ha tre parti. La prima parte in cui viene rilevato se uno dei sensori è aperto. A tale scopo è stata inserita la rete R1-R2-R3-C1 all'entrata di U1A e il transistor Q1 con il diodo LED LD7. Se i sensori sono in stato di riposo, ponti inseriti, all'entrata dell'invertitore avremo un livello alto e all'uscita un livello basso. Il transistor non condurrà e il diodo LED LD7 non si illuminerà. Invece, quando uno dei due sensori si attiva, oppure si attivano tutti e due (togliendo uno o due ponti), all'entrata dell'invertitore avremo un livello basso e all'uscita (terminale 2) un livello alto che attiverà il transistor e farà illuminare il LED. La seconda parte che compone il circuito è la temporizzazione, che forma la rete R5-C2. La temporizzazione dura più di un minuto e permette, quando si collega l'alimentazione per mezzo dell'interruttore, che il transistor che pilota l'uscita non vada in conduzione, anche se attiva uno dei sensori. Possiamo abilitare la medesima temporizzazione agendo su P8, perché il condensatore si scarica e, mediante il diodo D2, l'uscita risulterà a zero e il transistor disattivato: di conseguenza, anche se si attiva uno dei sensori d'entrata, il circuito non si metterà in funzione.

Funzionamento

Se si collega l'allarme di un'abitazione e si utilizza, per esempio, un tipo di sensore magnetico per la porta o il fine corsa meccanico che simuleremo mediante due fili, i fili saranno scollegati quando l'allarme è in stato di riposo. Si suppone che quando usciamo dall'abitazione, l'allarme si metta in funzione e, quindi, si azionerà SW1. A partire da questo momento abbiamo circa un minuto o poco più per uscire di

Possiede una disattivazione temporizzata

Allarme con temporizzazione

COMPONENTI	
R1	10 K
R2	2M2
R3	1K5
R4, R9	2K2
R5	220 K
R6	2K7
R7	47 Ω
R8	8K2
C1	10 nF
C2	470 µF
D1, D2, D3	1N4148
Q1, Q2	BC548
U1	4049
P8	
SW1	
LD7, LD8	

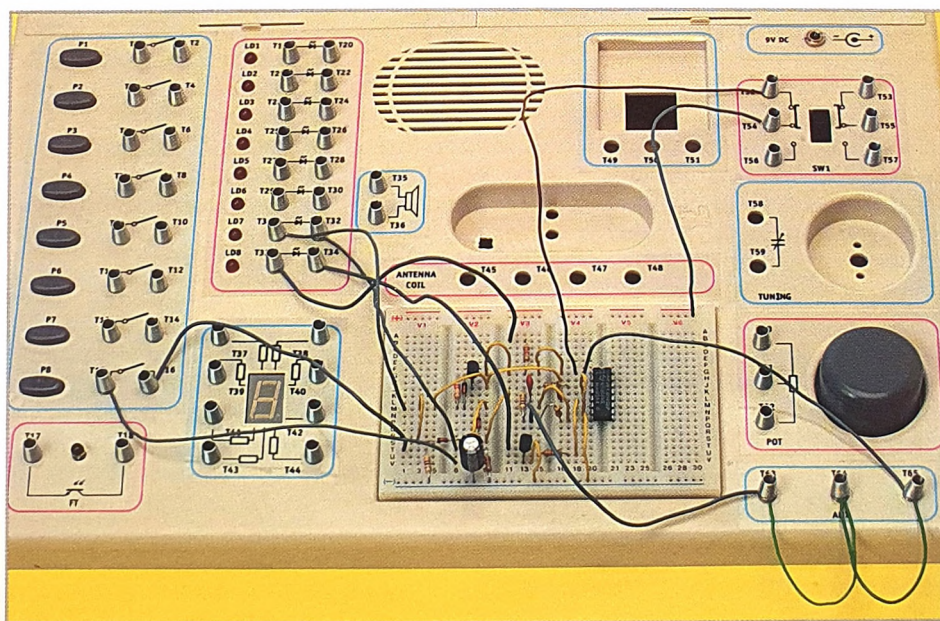
casa senza che l'allarme si attivi. Se vorremo rientrare, dovremo nascondere da qualche parte il pulsante P8 – in realtà si tratterebbe di un interruttore a chiave – in modo che, premendo questo pulsante, avremo ancora un minuto di temporizzazione durante il quale l'allarme non si attiva. Potremo, così, entrare e scollegare l'allarme azionandone l'interruttore dell'alimentazione, SW1.

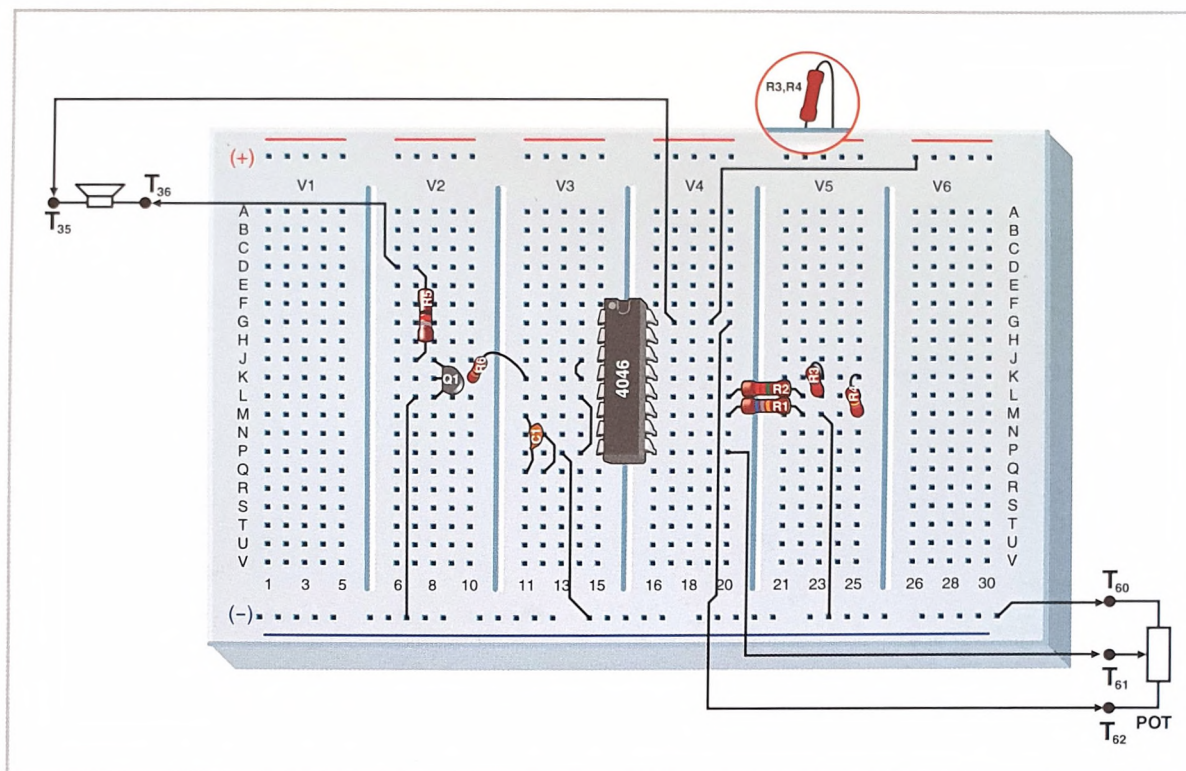
Messa in funzione

Dato che in questo circuito sono molti i componenti dotati di polarità, dovremo prestare molta attenzione alla loro collocazione. Inoltre, dovremo stare attenti a collegare bene l'alimentazione dell'integrato U1.

P8 attiva nuovamente la temporizzazione per poter entrare e scollegare l'allarme.

Esperimento

Se si considerasse eccessiva la temporizzazione del circuito per l'entrata in funzione dalla sua attivazione, o per la sua disattivazione, basterà ridurre il valore di R5 e/o C2 e anche la temporizzazione diminuirà.

VCO con 4046

Ha un ampio margine di frequenze di uscita.

Il circuito integrato 4046 è utilissimo per progettare un VCO, cioè degli oscillatori controllati dalla tensione e l'esperimento che proponiamo è un oscillatore di questo tipo con una frequenza di uscita che dipende dai valori di alcuni componenti e dalla tensione applicata al terminale 9 del circuito integrato.

Il 4046

Anche se abbiamo già visto il funzionamento di questo integrato, ricorderemo alcune delle sue principali caratteristiche. L'integrato produce un'onda quadra simmetrica di uscita molto ben formata, con un limite di frequenza superiore che può arrivare a più di 1 MHz, e con una reazione lineare di tensione/frequenza intorno all'1% e che possiamo variare esternamente per mezzo della tensione che si applica al terminale 9; è per questo che si chiama oscillatore controllato dalla tensione. La frequenza dell'oscillatore è determinata dal valore del condensatore C1, che come minimo sarà di 50 pF, collegato tra i terminali 6 e 7 e il valore della resistenza collegata al terminale 11 e 12, che come minimo sarà di 10K.

La frequenza dell'oscillatore viene stabilita dal condensatore C1

Il circuito

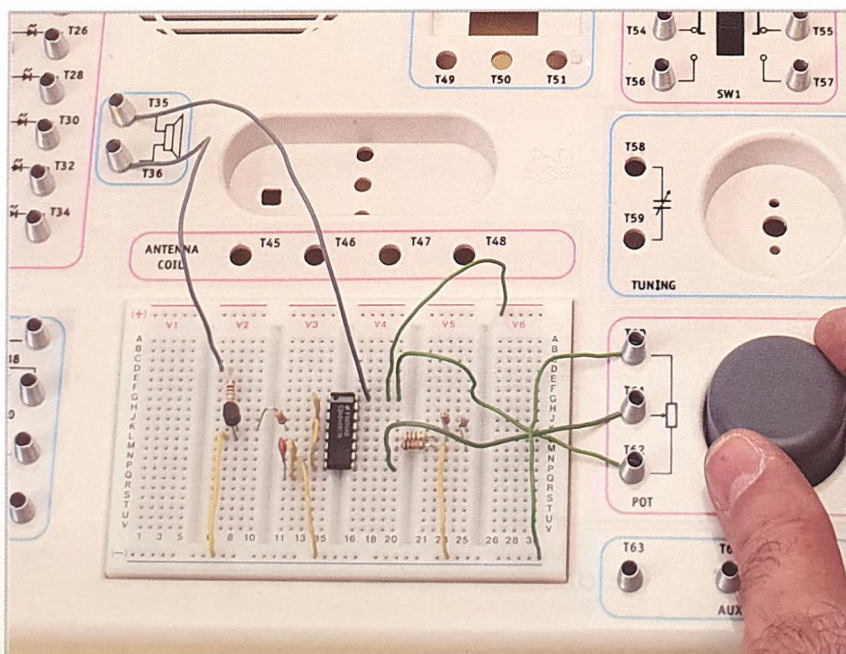
Il circuito è una delle configurazioni più semplici del 4046 come generatore di onda quadra controllata dalla tensione. In questo caso la frequenza minima di funzionamento viene stabilita dalla rete R2-C1, mentre la massima viene determinata da C1 e la resistenza in parallelo di R1 e (R2 + R3 + R4). L'uscita dell'oscillatore è collegata direttamente alla base del transistor attraverso la resistenza della base R6.

Messa in funzione

Il circuito deve funzionare senza problema una volta che abbiamo collegato l'alimentazione. Può essere che non si senta alcun suono per via della frequenza di oscillazione se quest'ultima è superiore a 20KHz, che è la massima che un

VCO con 4046

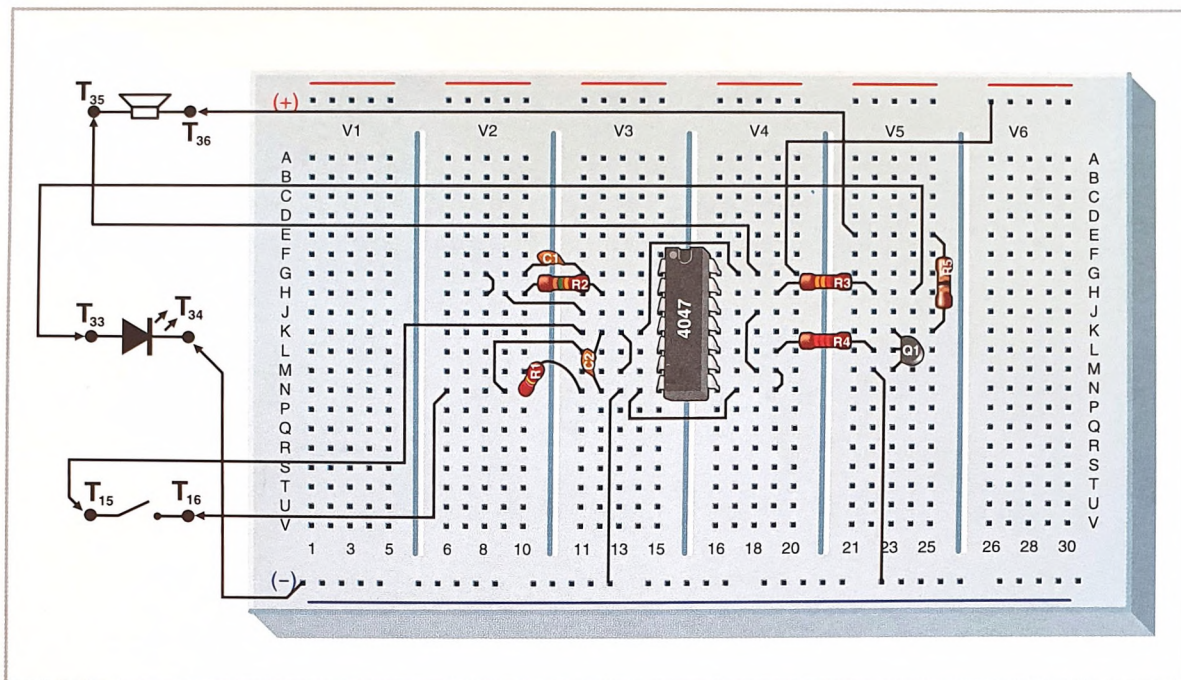
COMPONENTI	
R1	68 K
R2, R3	2M2
R4	270 K
R5	82 Ω
R6	10 K
C1	4,7 nF
Q1	BC548
U1	4046
ALTOPARLANTE	
POT	

orecchio umano è in grado di sentire; di conseguenza ruoteremo il comando del potenziometro fino a riuscire a ottenere una minor frequenza. Il margine di lavoro del circuito può raggiungere i 40 kHz. Se non funzionasse, scollegheremo l'alimentazione e verificheremo tutte le connessioni; dovremo prestare attenzione soprattutto a quelle del circuito integrato e a quelle del transistor.

La frequenza di uscita si controlla mediante il potenziometro che determina a sua volta il livello di tensione applicato al terminale 9 del circuito integrato.

Esperimenti

Per osservare il circuito che pilota l'oscillatore, si possono cambiare diversi componenti. Innanzitutto, possiamo modificare la frequenza massima di uscita. Per ciò, dovremo cambiare i valori di una qualsiasi delle resistenze da R1 a R4. Per cambiare la frequenza minima del circuito si può rimettere la resistenza R1, oppure il condensatore C1 o tutti e due. Un altro esperimento consiste nell'aumentare e nel diminuire la resistenza della base R6, per ottenere l'aumento che ne consegue oppure la diminuzione del suono generato nell'altoparlante.

Astabile controllato da un pulsante

Un livello di un terminale controlla il funzionamento del circuito integrato 4047.

Il circuito viene utilizzato per verificare il funzionamento dell'entrata di controllo del circuito integrato 4047 e funziona come un oscillatore astabile. Questo integrato ha dei terminali d'entrata che permettono di controllare la sua messa in funzione. Può risultare utile per attivare e disattivare l'oscillatore mediante dei circuiti di controllo esterni.

Il circuito

Una semplice occhiata al circuito ci può ricordare la configurazione del montaggio astabile. Perché l'integrato possa funzionare come astabile, i terminali 4, 5, 6 e 14 dovranno essere collegati al positivo dell'alimentazione e i terminali 7, 8, 9 e 12 al negativo. Per controllare l'oscillatore è necessario scollegare il terminale 5 del circuito integrato. Questo terminale verrà unito al negativo dell'alimentazione mediante la resistenza R1. In questo stato, l'oscillatore non funzionerà, perché né il LED si illuminerà, né funzionerà l'altoparlante. Se adesso azioniamo il pulsante P8, il livello in questa entrata dell'integrato passa a '1', per cui l'integrato inizierà ad oscillare e all'uscita Q otterremo una frequenza che potremo sentire grazie all'altoparlante. Il segnale dell'uscita del terminale OSC, che si attiva quando funziona l'oscillatore, illuminerà il LED.

Il 4047 è dotato di un terminale di controllo

Funzionamento

Il circuito in stato di riposo, senza che sia azionato il pulsante P8, ha le uscite a livello basso e, quindi, dall'altoparlante non potremo sentire niente e il diodo LED non rimarrà illuminato. Azionando il pulsante, invece, l'uscita Q incomincia a oscillare con un segnale la cui frequenza è di f = 1/(4,40 x R2 x C1), mentre l'uscita OSC incomincia a oscillare con una frequenza doppia.

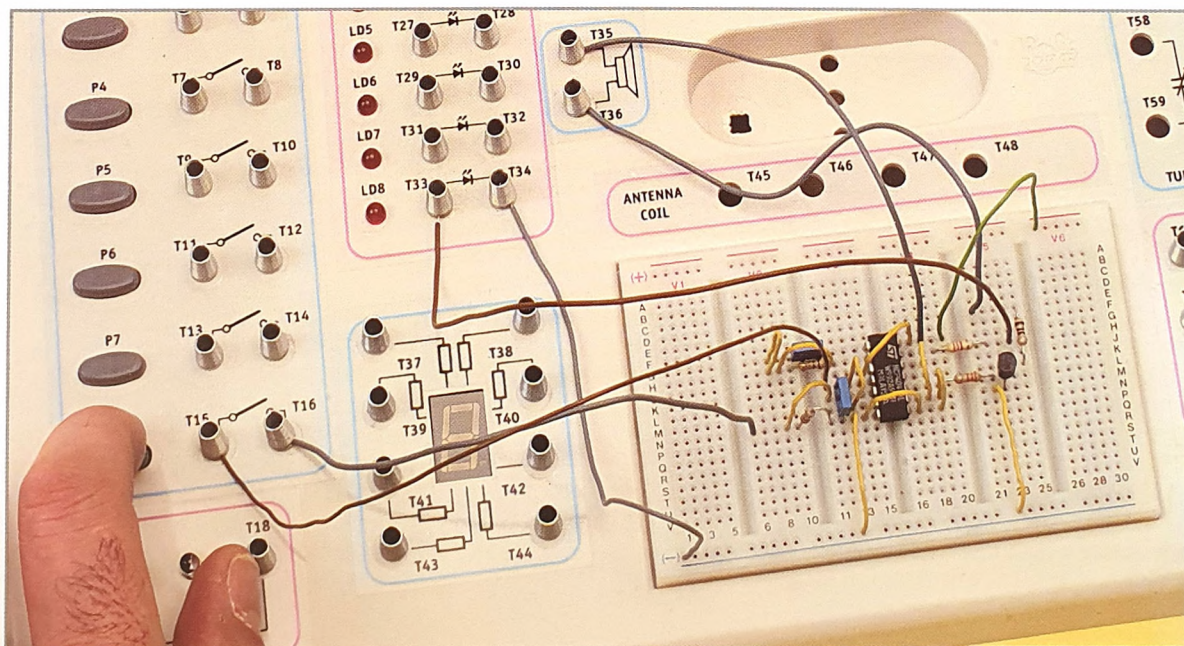
Messa in funzione

Il circuito deve funzionare quando azioniamo il pulsante, sempre che sia collegato con l'alimentazione. Se le connessioni sono state correttamente effettuate, il LED si deve illuminare senza nessun problema. Se l'altoparlante non dovesse emettere alcun suono, è possibile che ciò sia dovuto all' errato inserimento del transistor Q1, che dovremo quindi verificare.

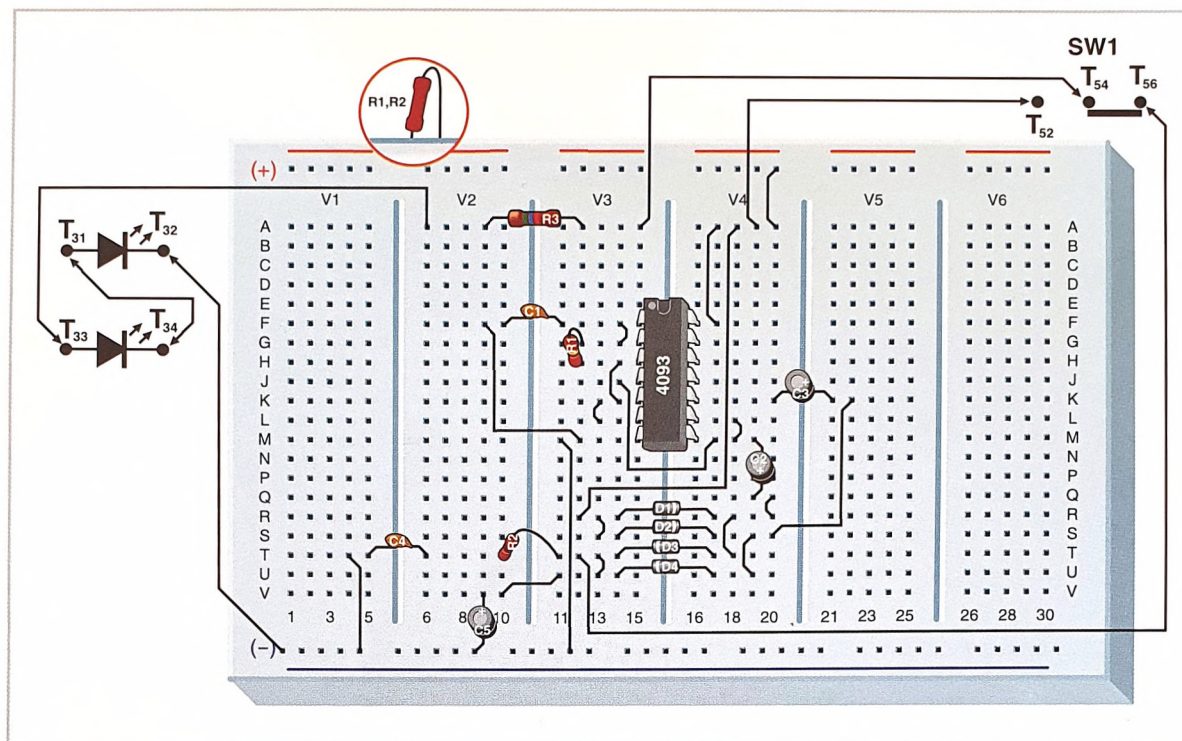
Astabile controllato da un pulsante

COMPONENTI	
R1	270 K
R2	15 K
R3	3K3
R4	2K2
R5	100 Ω
C1, C3	100 nF
C2	220 nF
Q1	BC548
U1	4047
P8	
LD8	
ALTOPARLANTE	

Esperimenti

A livello funzionale, possiamo cambiare la frequenza di uscita dell'oscillatore variando la capacità del condensatore C1 e/o la resistenza R2. Esiste anche la possibilità di aumentare o diminuire la luminosità del LED diminuendo o aumentando la resistenza R3. Se si vuole, c'è anche la possibilità di cambiare la frequenza sonora dell'altoparlante modificando il valore della resistenza di polarizzazione della base di Q1.

L'altoparlante suonerà quando il circuito oscilla.

Duplicatore di tensione digitale

Si ottiene una tensione di uscita superiore a quella di alimentazione

Questo circuito sperimentale dimostra come ottenere in un'uscita una tensione quasi doppia rispetto a quella dell'alimentazione. Si utilizzano: un oscillatore astabile, un ponte di diodi e un condensatore di immagazzinamento del carico.

Il circuito

Il circuito può essere suddiviso in due parti. La porta U1A, insieme al condensatore C1 e alla resistenza R1, costituisce un circuito oscillatore astabile a frequenza fissa. Applicheremo il segnale di uscita alla porta U1B del 4093. Se l'uscita della porta U1B è a basso livello, il condensatore C2, mediante un diodo, si carica alla tensione di alimentazione, quando il terminale 4 dell'integrato è a basso livello. In questo preciso momento, l'uscita di U1C è a livello alto e C3 si scarica in C5. Quando l'uscita della porta U1B è a livello alto, il condensatore C2 si scarica, mediante un diodo, anch'esso in C5. L'uscita U1C è a basso livello e il condensatore C3 si carica, per mezzo del diodo D2, alla tensione di alimentazione. Pertanto, il condensatore C5 si caricherà sia nel caso in cui il livello del segnale dell'oscillatore d'entrata sia a livello alto che a livello basso.

In un condensatore viene immagazzinata energia

Funzionamento

Il principio di funzionamento del circuito si fonda sulla costante di carica del condensatore, sia a livello alto che a livello basso del segnale d'entrata dell'oscillatore; ne consegue che la tensione di uscita sale al di sopra di quella di alimentazione. Il circuito oscillatore di entrata al circuito ha una frequenza di oscillazione di poco più di 20 kHz; carica e scarica dei condensatori C2 e C3, quindi, saranno velocissime e anche se si verifica un piccolo consumo – in questo caso i diodi LED LD7 e LD8 – la tensione si manterrà costante. Grazie a questo circuito possiamo ottenere una tensione di circa 15 Volt e una corrente fino a 10 mA.

Messa in funzione

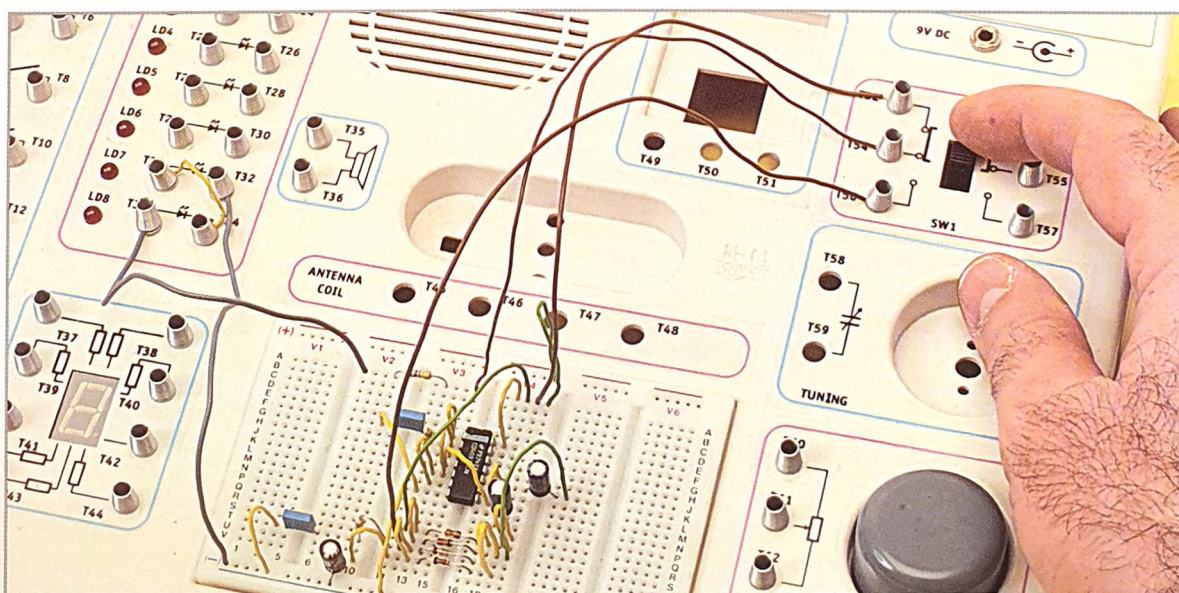
Basta collegare l'alimentazione affinché il circuito inizi a funzionare, quindi l'oscillatore inizierà immediatamente a oscillare. Se non si dovessero illuminare i LED, dovremo rivedere la posizione dei quat-

Duplicatore di tensione digitale

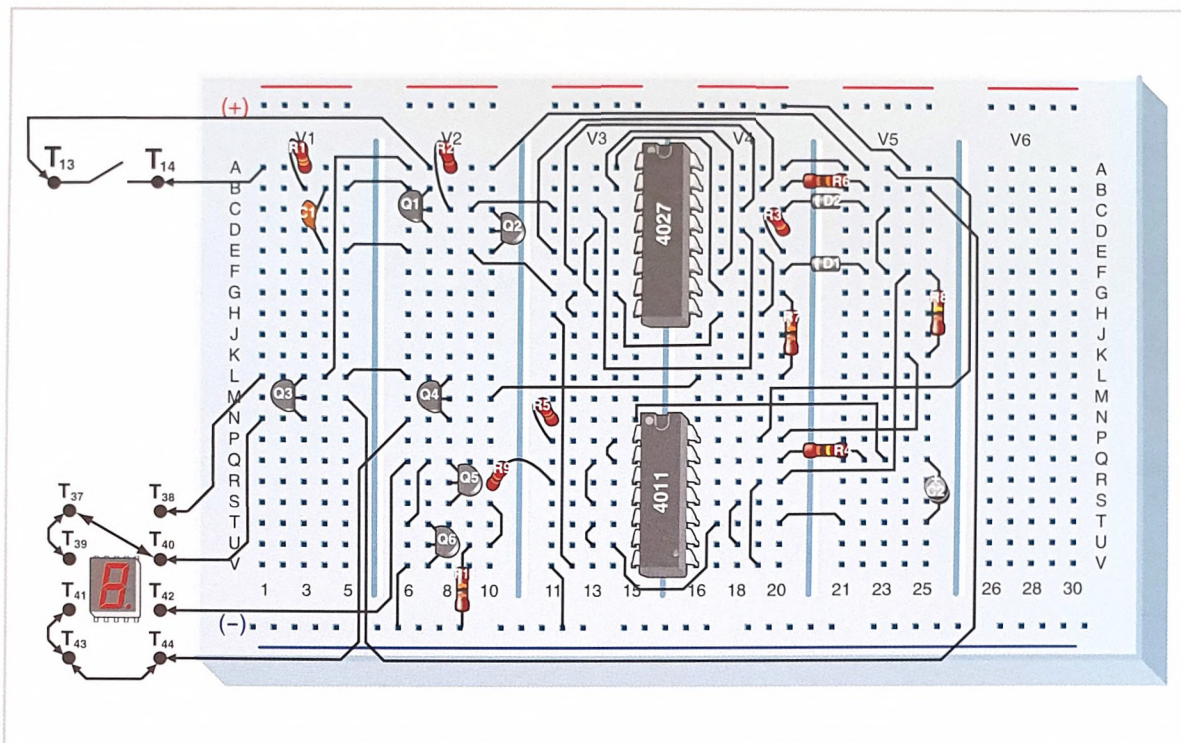
COMPONENTI	
R1	100 K
R2	10 Ω
R3	5K6
D1 a D4	1N4148
C1	100 nF
C2, C3	1 μF
C4	100 nF
C5	2,2 μF
U1	4093
LD7 e LD8	

tro diodi che formano il ponte di diodi e la polarità dei condensatori C2, C3 e C5. Andrà rivista anche l'alimentazione dell'integrato 4093.

Esperimenti

Cambiando la resistenza R1 e/o C1, possiamo variare la frequenza di oscillazione del circuito. Aumentare la frequenza non provoca nessun problema nel funzionamento del circuito; invece, una notevole riduzione della frequenza implica una caduta di tensione e, di conseguenza, i LED saranno meno luminosi. Il commutatore serve per vedere come, alimentando il duplicatore di tensione, aumenti la loro luminosità.

Otteniamo una tensione continua di uscita superiore a quella dell'alimentazione.

Fermiamo l'8

Si tratta di un gioco in cui i diversi tempi di accensione ci metteranno alla prova.

Il circuito che vedremo di seguito è un gioco che combina l'abilità con la fortuna del giocatore. Si deve riuscire a fermare il display quando rappresenta il numero 8. Perciò, dopo vari lampeggiamenti del display, arriva un momento di incertezza, in cui dovremo cercare di scoprire l'istante in cui dovremo fermare il numero prima che questo cambi.

Il circuito

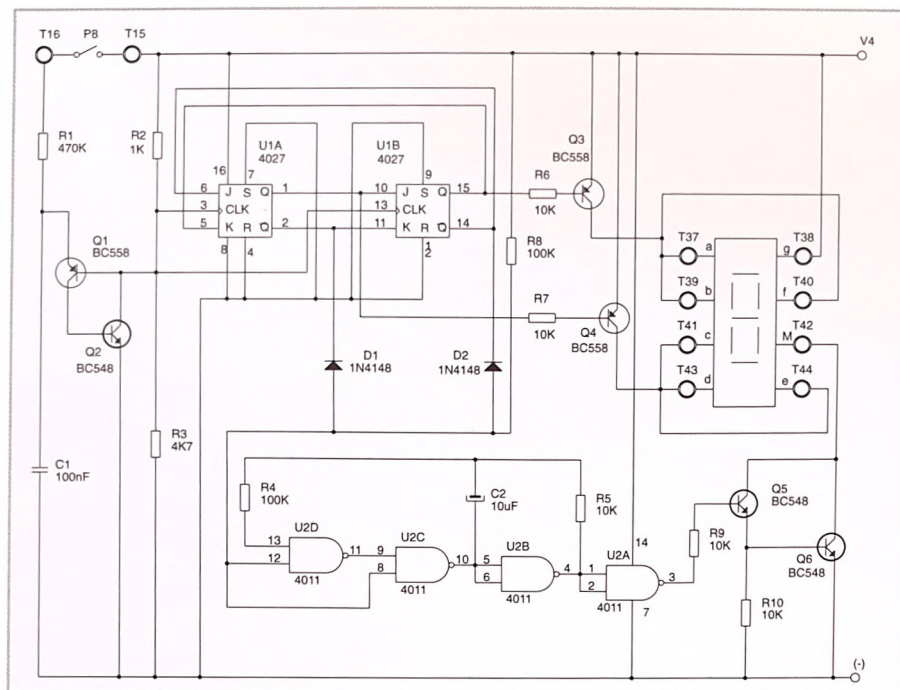
Il transistor Q6, che lavora in stato di saturazione e che mette, o meno, a massa il terminale comune del display, T42, controllato dall'altro transistor Q5, la cui base è collegata direttamente all'uscita di un oscillatore astabile costituito dalle porte NAND di un 4011, accende totalmente il display. Questo oscillatore è controllato dal segnale /Q del flip-flop U1B. I due flip-flop J-K U1A e U1B sono connessi tra di loro formando un contatore a due bit, così che, ogni volta che si attiva o disattiva il circuito per mezzo del pulsante P8, l'uscita del contatore cambierà, aumentando di un numero. I due bit del contatore sono le due uscite dei flip-flop collegate direttamente alla base dei transistor Q3 e Q4 e che attivano i due gruppi di LED del display. L'impulso del clock si genera quando si preme il pulsante P8 che collega il collettore con l'emettitore di Q2.

Funzionamento

I segmenti del display sono stati divisi in tre gruppi: da una parte i segmenti a, b e f, dall'altra i segmenti c, d e y e, infine, il segmento g. Quest'ultimo è costantemente acceso perché è direttamente collegato all'alimentazione positiva. Quando si preme il pulsante P8, gli altri due gruppi lampeggeranno alternativamente accendendosi e spegnendosi uno dopo l'altro finché arriva il momento in cui il display è completamente spento. Appena prima dello spegnimento, avrà le due parti illuminate, e quindi, rappresenterà l'8.

Un gioco di abilità e fortuna

Sarà quello il momento in cui dovremo disattivare P8 per fermare il display che sta rappresentando il numero 8. Se non riusciamo a farlo, possiamo riprovare attivando nuovamente P8.

Fermiamo l'8

COMPONENTI	
R1	470 K
R2	1 K
R3	4K7
R4, R8	100 K
R5, R6, R7, R9, R10	10 K
C1	100 nF
C2	10 µF
Q1, Q3, Q4	BC558
Q2, Q5, Q6	BC548
U1	4027
U2	4011
DISPLAY	
P8	

Messa in funzione

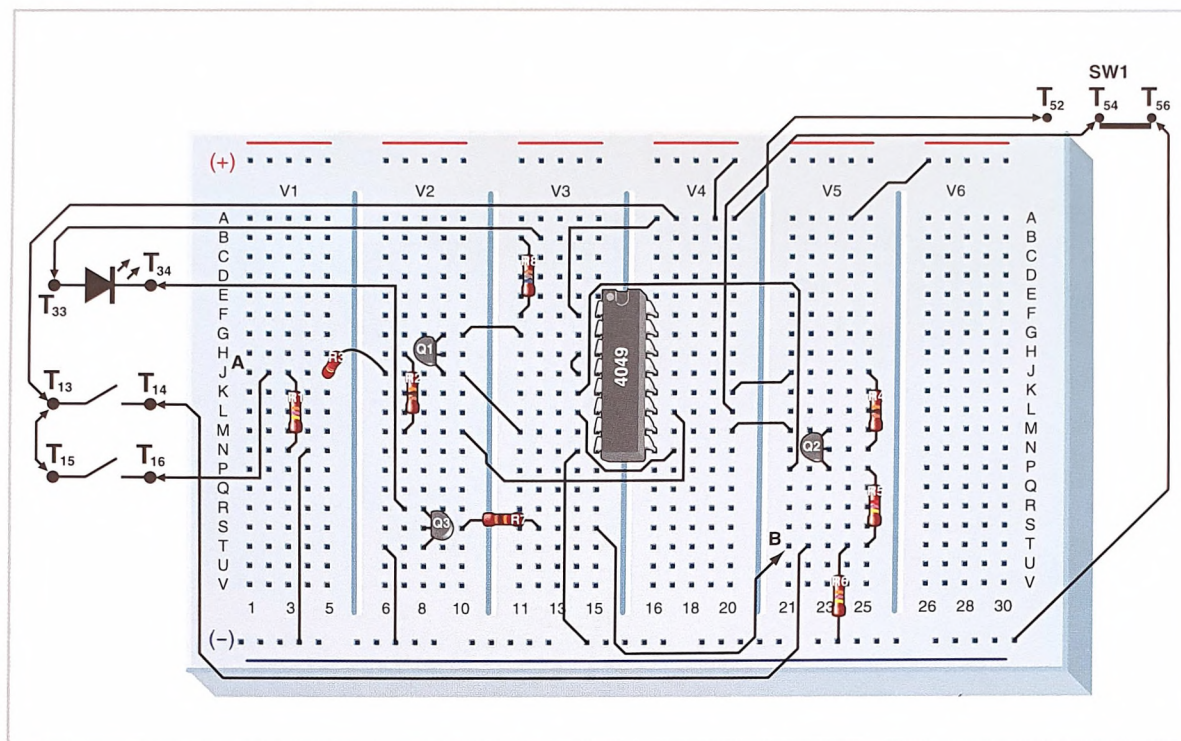
Trattandosi di un circuito di una certa importanza, è importante rivedere tutte le connessioni prima di collegarlo all'alimentazione. Se quando lo si collega e scollega, mediante l'attivazione e disattivazione di P8, non dovesse funzionare, dovremo verificare la polarità del condensatore C1. Se non dovesse ancora funzionare, controlleremo i diodi D1 e D2 e tutti i transistor. Se nemmeno in questo caso dovesse funzionare, e con l'alimentazione degli integrati correttamente collegata, guarderemo se la connessione del terminale T42 del display è stata correttamente inserita.

I segmenti si accendono e spengono con i transistor.

Esperimenti

Nel circuito non potremo attuare molti cambiamenti, ma possiamo variare un po' la frequenza di lampeggiamento del display, cambiando qualcuno dei componenti dell'oscillatore astabile realizzato con le porte NAND. Perciò, possiamo cambiare il valore di C2 e/o R5.

Porta bidirezionale

Un commutatore selezionerà la direzione di trasferimento.

È comunissimo ai nostri giorni, quando ci si riferisce a un computer, sentire parlare in gergo informatico di 8 bit, 16 bit eccetera. Forse, però, nessuno di noi ha avuto modo di pensare che i dati – i bit – viaggiano nelle due direzioni, vanno e vengono, cioè, lungo la medesima linea.

Il circuito

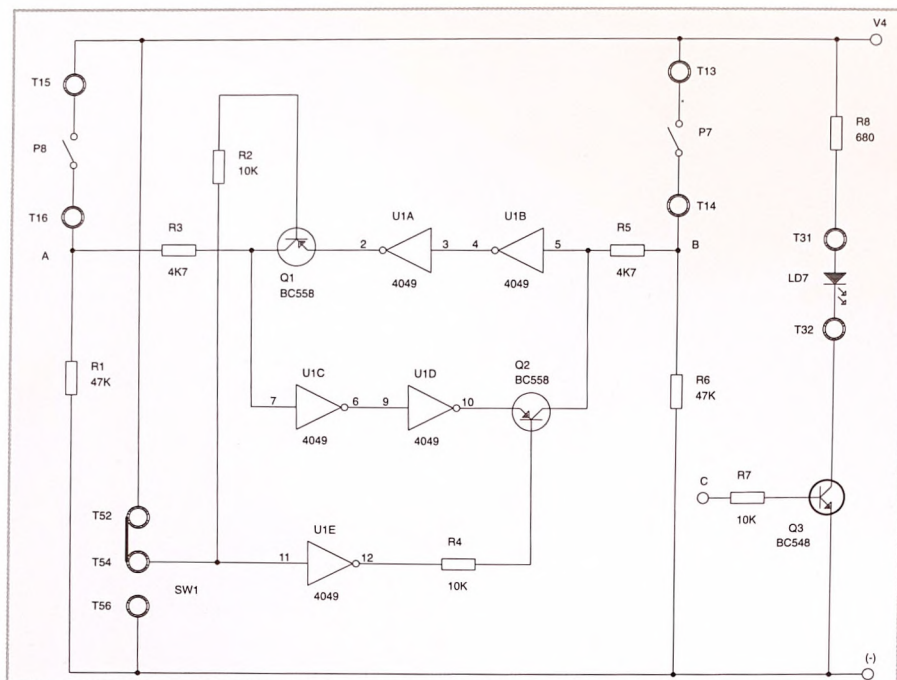
Il circuito dispone di un selettore manuale di direzione, il commutatore SW1, che attiva il transistor PNP, che è quello che indica realmente la direzione di passaggio dei dati. Con il commutatore in posizione T52 – C collegato a B – il transistor Q1 è in stato di interdizione e, quindi, non conduce, mentre Q2 è saturato a causa della porta invertente posta nella sua base. In questo modo si produce il passaggio dei dati presenti in A (livello alto) verso B, che sarà un livello basso, se azionando il pulsante P8, il LED si illuminerà. Succederà l'opposto se il commutatore verrà posto nella posizione T56, perché, in questo caso, Q2 è interdetto e Q1 saturo, perché il dato è a livello basso o alto a seconda che P7 sia o meno azionato. Per vedere il dato, in questo caso, si deve collegare il punto C al punto A.

Funzionamento

Con il circuito collegato all'alimentazione, non vedremo nessuna attività: infatti l'indicazione visiva, prodotta mediante il diodo LED LD7, non potrà funzionare, perché la base del transistor Q3 non è polarizzata, è, cioè, scollegata. La prima cosa da fare, quindi, è collegare il punto C al punto B. in seguito, si metterà il commutatore SW1 nella posizione T52. Adesso azioneremo il pulsante P8 ogni volta che vorremo trasmettere un dato; si illuminerà anche il diodo LED LD7.

Se ora collegassimo il punto C al punto A, azionando il pulsante SW1 verso la posizione T56, trasmetteremmo il dato in senso inverso rispetto a quello seguito quando veniva azionato P7. Così, effettuiamo un trasferimento della più piccola informazione – il bit – in tutti e due i sensi. Questa è la medesima operazione che un computer realizza simultaneamente a blocchi di 8, 16, 32 bit.

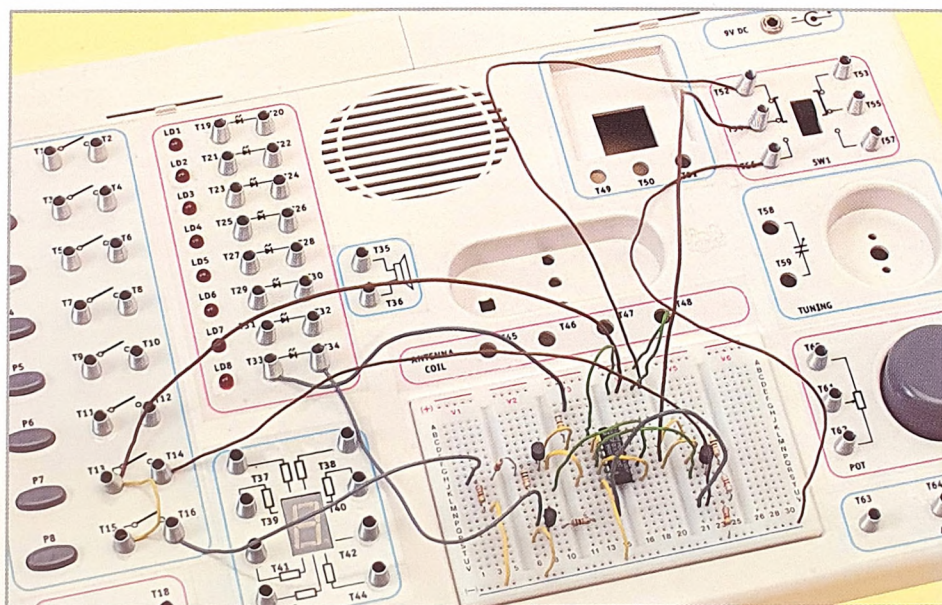
Imita un'entrata/uscita di dati

Porta bidirezionale

COMPONENTI	
R1, R6	47 K
R2, R4, R7	10 K
R3, R5	4K7
R8	680 Ω
Q1, Q2	BC558
Q3	BC548
U1	4049
LD7	
SW1	
P7, P8	

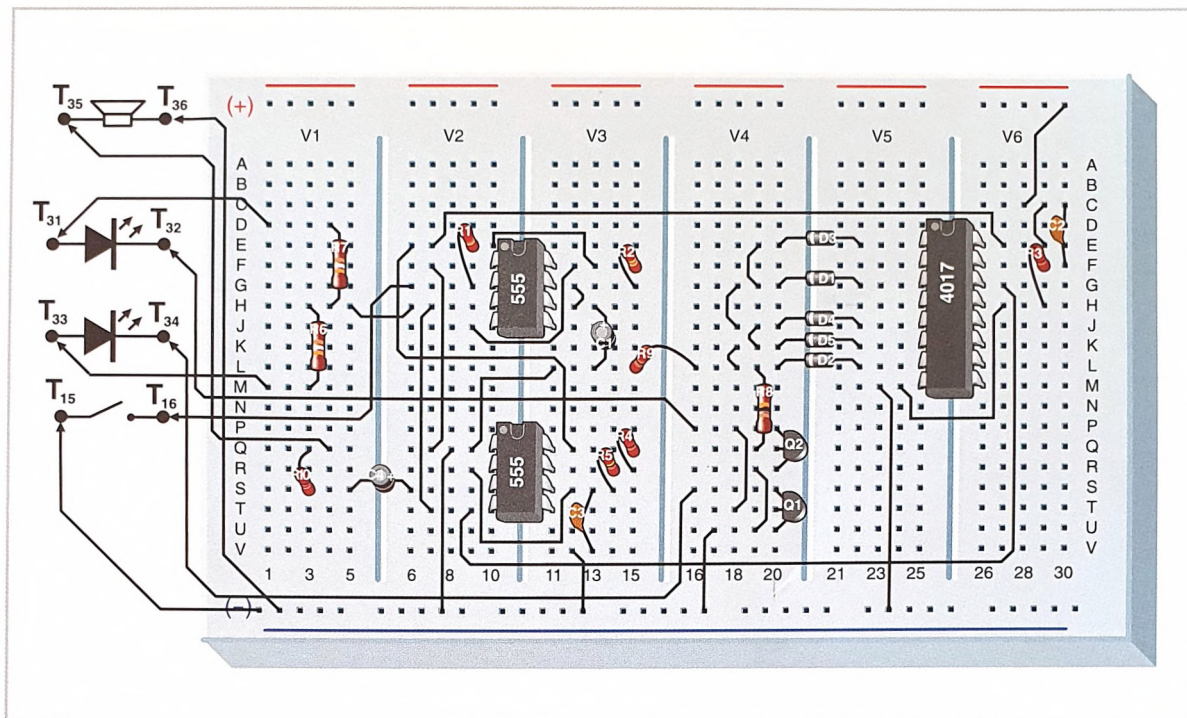
Messa in funzione

Il montaggio non dovrebbe presentare alcun problema, per quanto riguarda la sua messa in funzione. Perciò, è importante seguire i passaggi indicati: innanzitutto collegare R7 al punto a cui viene destinata l'informazione, poi, porre il commutatore SW1 nella posizione che indica la direzione di trasferimento e, infine, azionare il pulsante che determina il dato. Se non dovesse funzionare correttamente, dovremo rivedere la polarità dei tre transistor e l'alimentazione del 4049.

Esperimenti

L'unico fattore che possiamo cambiare in questo esperimento è la resistenza di polarizzazione della base e quella del collettore per variare la luminosità del LED. Se si aumenta R7 e/o R8, la polarizzazione del LED diminuisce e si illumina di meno. Se, invece, diminuissimo questi valori, succederebbe tutto l'opposto, anche se dovremmo fare molta attenzione, perché se li abbassassimo troppo, potremmo distruggere il transistor.

I transistor agiscono come interruttori.

Indicatore delle risposte

La sequenza la conosciamo, ma paradossalmente, il tutto risulta enigmatico.

Ultimamente sono di moda i giochi di domanda e risposta. Posta la domanda si risponde e si aspetta di vedere accendersi una luce indicante se la risposta data è corretta o no. Si può scegliere la sequenza di risposte giuste e sbagliate tra dieci domande.

Il circuito

Il circuito è formato da un oscillatore astabile che utilizza un 555, U1, e che viene attivato con il pulsante P8. L'uscita di questo temporizzatore serve, da un lato, da segnale di clock al contatore ad anello 4017 e, dall'altro lato, per attivare un oscillatore astabile e per alimentare i transistor Q1 e Q2. L'oscillatore astabile utilizza un altro 555, U2, la cui uscita viene collegata ad un altoparlante che emetterà un suono nel periodo di tempo fissato dal monostabile. Durante questo periodo di tempo rimarrà acceso il diodo LED LD7 oppure il diodo LD8 indicando se la risposta data era esatta oppure no.

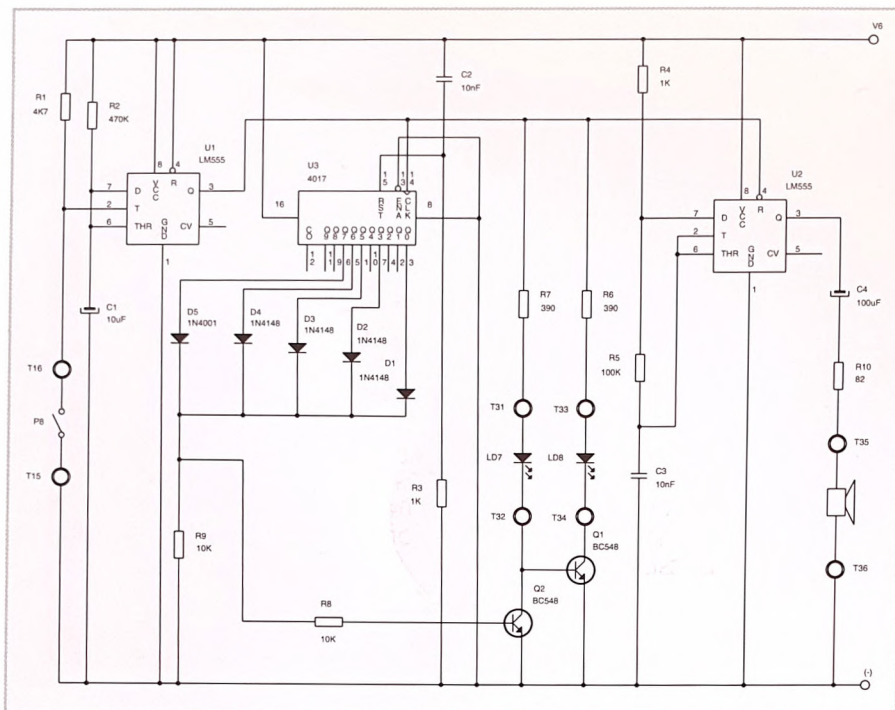
Configurazione delle risposte

Per giocare dovremo disporre di dieci domande, di modo che siano esatte cinque risposte al massimo; abbiamo, infatti, solamente cinque diodi. Con l'attuale configurazione del circuito, quindi, dovremo avere la seguente sequenza di risposte: esatta (Q0), errata (Q1), errata (Q2), esatta (Q3), errata (Q4), esatta (Q5), esatta (Q6), esatta (Q7), errata (Q8) ed errata (Q9). Vediamo che una risposta esatta implica, quindi, che all'uscita sia collocato un diodo vicino alle resistenze R8, R9, mentre una risposta errata implica il non utilizzo dell'uscita.

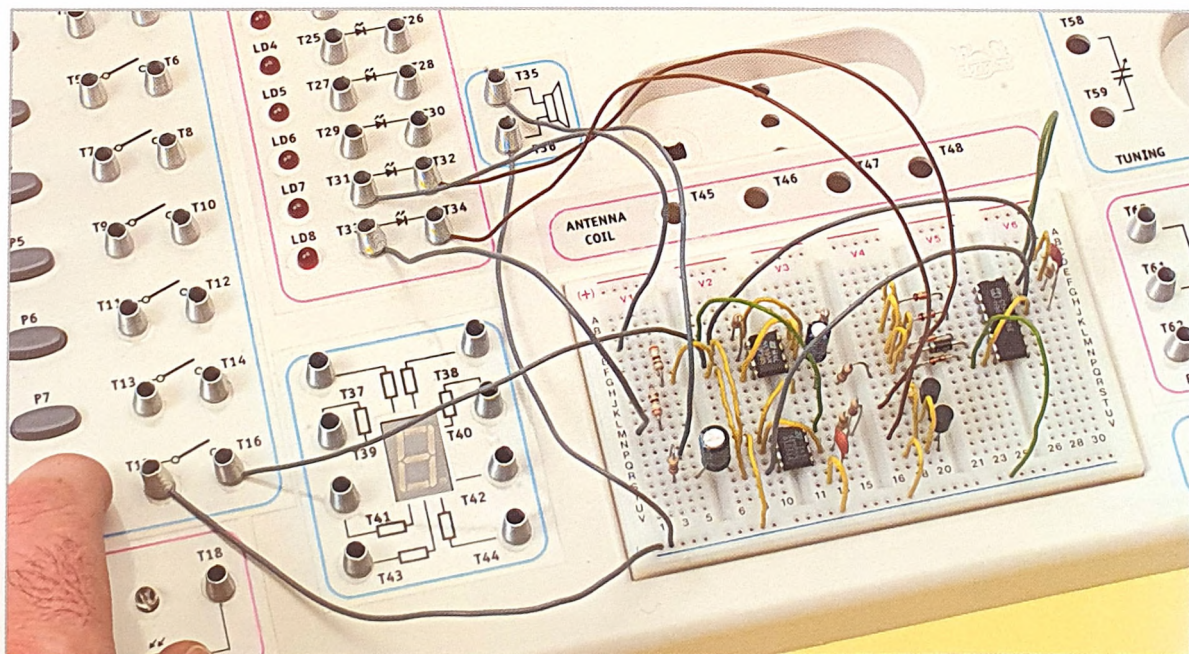
Funzionamento

Per giocare con questo circuito si porrà una domanda e si darà una risposta che potrà essere esatta oppure no; deve indovinarlo il concorrente. Dopo che il concorrente ha risposto si azionerà il pulsante P8 e durante un periodo di tempo di 4 o 5 secondi, si produrrà un ronzio e si attiverà il diodo che indicherà il risultato. In seguito, si ripeterà tutto il procedimento fino ad un massimo di dieci volte. In questo caso abbiamo stabilito questa configurazione, ma avremmo potuto sceglierne un'altra qualsiasi.

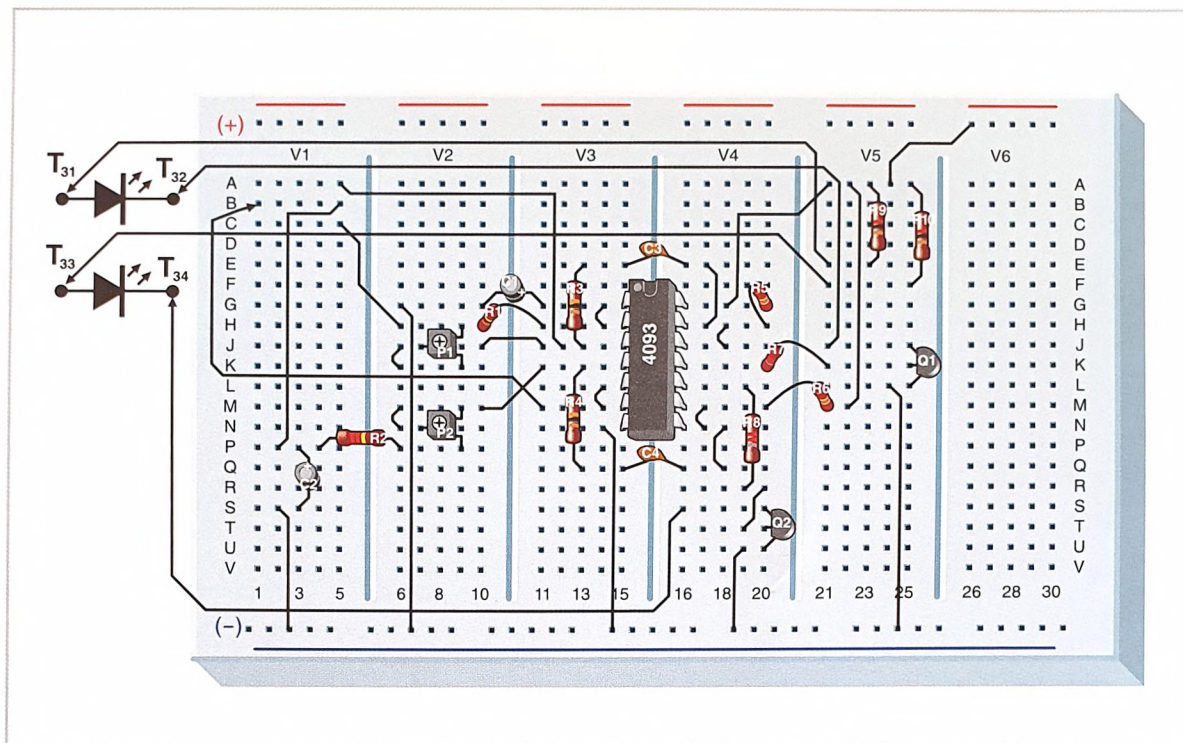
La sequenza viene creata grazie ad un 4017

Indicatore delle risposte

COMPONENTI	
R1	4K7
R2	470 K
R3, R4	1K
R5	100 K
R6, R7	390 Ω
R8, R9	10 K
R10	82 Ω
C1	10 µF
C2, C3	10 nF
C4	100 µF
Q1, Q2	BC548
D1	1N4007
D2 a D5	1N4148
U1, U2	555
U3	4017
P8	
LD7 e LD8	
ALTOPARLANTE	

Esperimenti

Cambiamo la sequenza delle risposte del circuito, in maniera che funzioni come segue: risposta errata (Q0), esatta (Q1), esatta (Q2), esatta (Q3), errata (Q4), errata (Q5), errata (Q6), errata (Q7), errata (Q8) ed esatta (Q9). Collocheremo perciò i diodi nelle uscite corrispondenti alle uscite Q1, Q2, Q3, e Q9.

I diodi andranno collegati alle uscite che corrispondono alle risposte esatte.

Intermittenza con un LED

Questo esperimento simula, con due LED, la luce utilizzata dai veicoli di emergenza.

Potremmo utilizzare questo circuito per collocare due LED in un'automobilina giocattolo alimentata a pile per creare un'attraente luce di emergenza, come quelle usate dalla polizia o dai pompieri. Possono esserci diverse versioni a seconda delle connessioni realizzate all'entrata della porta U2A.

Il circuito

Il circuito ha alla propria uscita due diodi LED che sono collegati con due circuiti identici, la cui illuminazione, però, dipenderà da come sono stati collegati tra loro. Ogni circuito è formato da un circuito oscillatore e da un generatore di impulsi. L'oscillatore astabile si costruisce a partire da una porta trigger Schmitt, 4093, e la frequenza della sua onda quadra si può regolare per mezzo del potenziometro inserito tra la sua entrata e la sua uscita, P1 nel caso di U1A e P2 nel caso di U1B. L'uscita dell'astabile si collega a un piccolo monostabile che si accende a ogni fronte di discesa di questo segnale e la cui uscita è un piccolo impulso. Questo impulso viene applicato alla base di un transistor in maniera tale da far illuminare il diodo LED collegato al suo collettore.

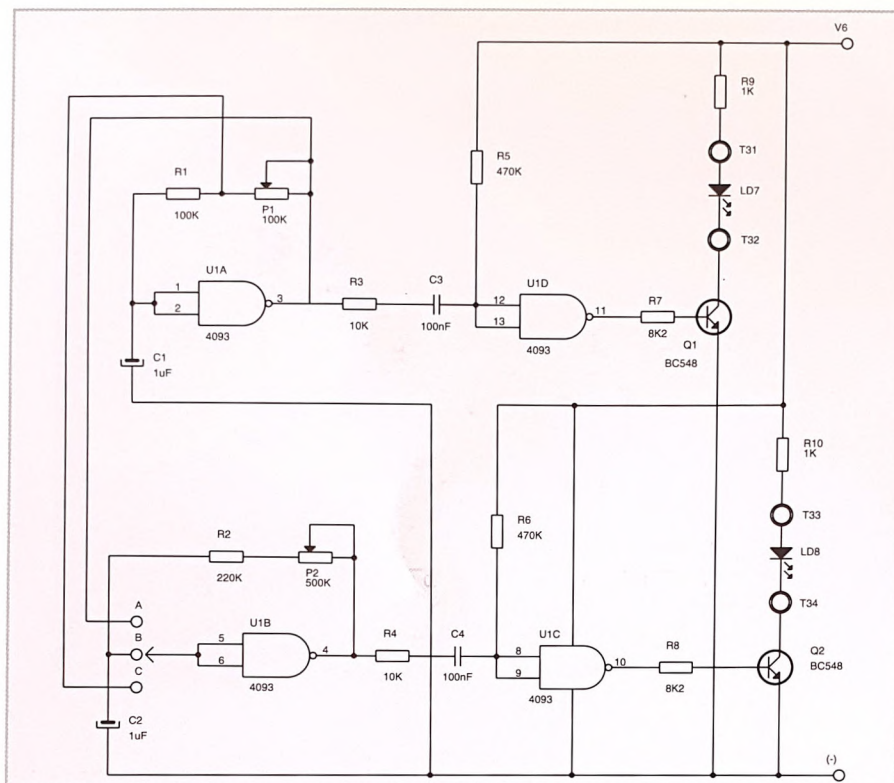
Funzionamento

Se le entrate della porta U1B si collegano al punto B, i due diodi LED si illumineranno indipendentemente perché la frequenza di oscillazione sarà imposta da P1 e C1 per LD7 e da P2 e C2 per LD8. Se la connessione d'entrata di U1B si realizza al punto A, i LED si illumineranno alternativamente, perché U1B non funziona come oscillatore, ma come semplice invertitore. In questo caso, quindi, la frequenza di uscita viene imposta da P1 e C1. Infine, se la connessione dell'entrata U1B viene fatta nel punto C, i due diodi si illumineranno simultaneamente, essendo U1B pilotato dagli stessi componenti di U1A.

L'uscita è costituita dai due diodi LED

Messa in funzione

Senza effettuare nessun tipo di unione tra i punti A, B e C, il circuito deve lampeggiare attraverso il diodo LED LD7. In segui-

Intermittenza con un LED

COMPONENTI	
R1	100 K
R2	220 K
R3, R4	10 K
R5, R6	470 K
R7, R8	8K2
R9, R10	1 K
C1, C2	1 µF
C3, C4	100 nF
U1	4093
Q1, Q2	BC548
LD7 e LD8	

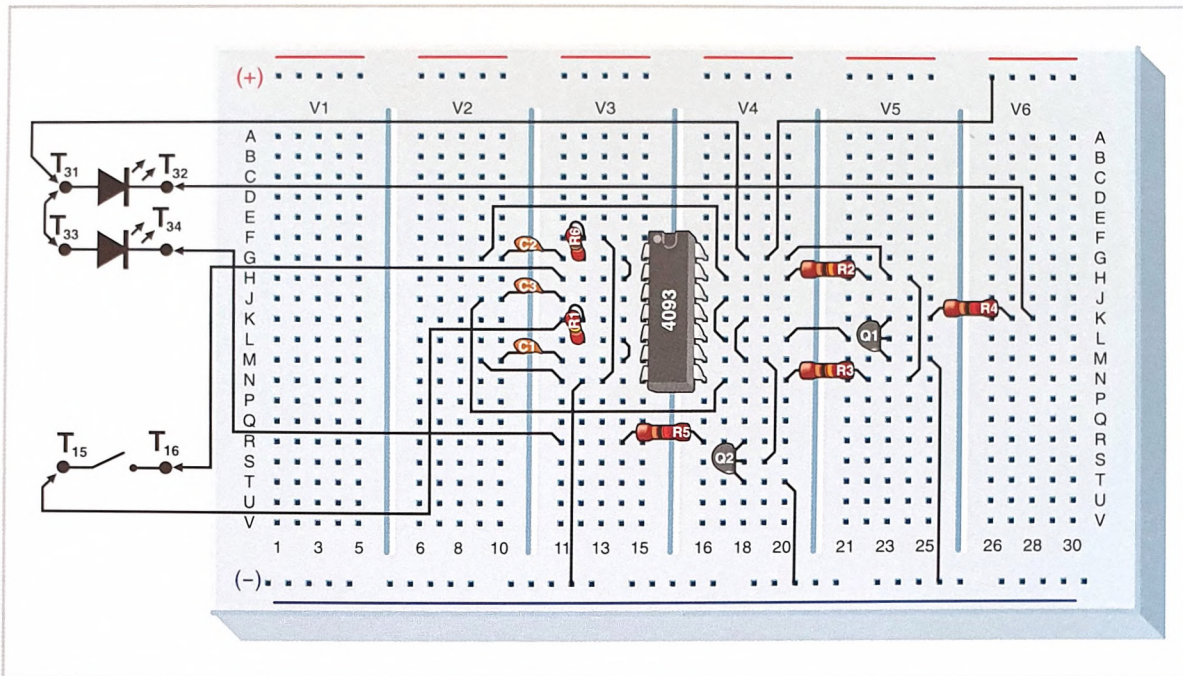
to, e a seconda del ponte realizzato, si illuminerà il diodo LED LD8. E' importante che si illumini LD7 per illuminare LD8 tramite le connessioni A o C. Se non si illuminasse LD7, dovremo rivedere tutte le connessioni, la polarità di C1 e del transistor Q1, oltre che il diodo LED LD7. Se non si illuminasse LD8, rivedremo la polarità di C2, il transistor Q2 e il diodo LED LD8.

Possiamo cambiare la luminosità diminuendo la resistenza della base.

Esperimenti

Possiamo cambiare l'ampiezza degli impulsi che vanno ai transistor cambiando le capacità di C3 e/o di C4 o delle resistenze R5/R6. È possibile anche aumentare la luminosità dei LED diminuendo le resistenze R7 e R8.

Gioco d'azzardo: testa o croce

Quando si preme un pulsante, rimane illuminato uno dei LED in maniera casuale.

Questo circuito ha alla sua uscita due diodi LED che si illuminano alternativamente al ritmo di un oscillatore, la cui frequenza è abbastanza alta da rendere impossibile di seguirne a occhio l'alternanza; sembra infatti che essi, una volta ricevuto il segnale dell'oscillatore, rimangano permanentemente illuminati e che solamente quando si scollega il circuito uno solo dei due LED rimanga acceso. È un gioco d'azzardo che ha due possibili soluzioni: l'accensione di un LED piuttosto che dell'altro. Le medesime due possibilità le ha anche il gioco – chiamato "testa o croce" – che consiste nel lanciare in aria una moneta. Basta assegnare un LED alla testa e l'altro alla croce.

Il circuito

Osservando lo schema del circuito, vedremo che esso è basato sull'utilizzo delle quattro porte del circuito integrato 4093. La porta U1B si usa per costruire un oscillatore e si collega al resto del circuito per mezzo del pulsante P8. Il segnale di uscita di questo oscillatore viene invertito nella porta U1A, configurata come invertente. Il segnale dell'oscillatore e il segnale invertito si applicano, attraverso due condensatori a ciascuna delle due entrate di un bistabile, formato con le due rimanenti porte del circuito integrato: U1C e U1D.

L'uscita di questo circuito viene utilizzata per eccitare due transistor del tipo PNP, ciascuno dei quali controlla l'illuminazione di un diverso LED.

Testa o croce elettronico

Funzionamento

Quando si mantiene premuto il pulsante P, il segnale dell'oscillatore passa al resto del circuito e i due LED collegati a ciascuna delle uscite del bistabile sembrano illuminati a causa del persistere dell'immagine nella retina. In realtà, si stanno accendendo e spegnendo in maniera intermittente, ma a una frequenza che l'occhio umano non riesce a seguire. Quando lasciamo andare il pulsante, rimane illuminato uno dei due LED, uno qualsiasi, non è possibile prevedere quale.

Messa in funzione

Il circuito deve funzionare fin dall'inizio. Quando si collega l'alimentazione, deve apparire illuminato un LED. Premeremo, allora, P8 e lo manterremo premuto per circa mezzo secondo, il lasso di tempo durante il quale potremo osservare che i

Gioco d'azzardo: testa o croce

COMPONENTI	
R1	150 K
R2, R3	100 K
R4, R5	1 K
C1	2,2 nF
C2, C3	1 nF
U1	4093
LD7, LD8	
P8	

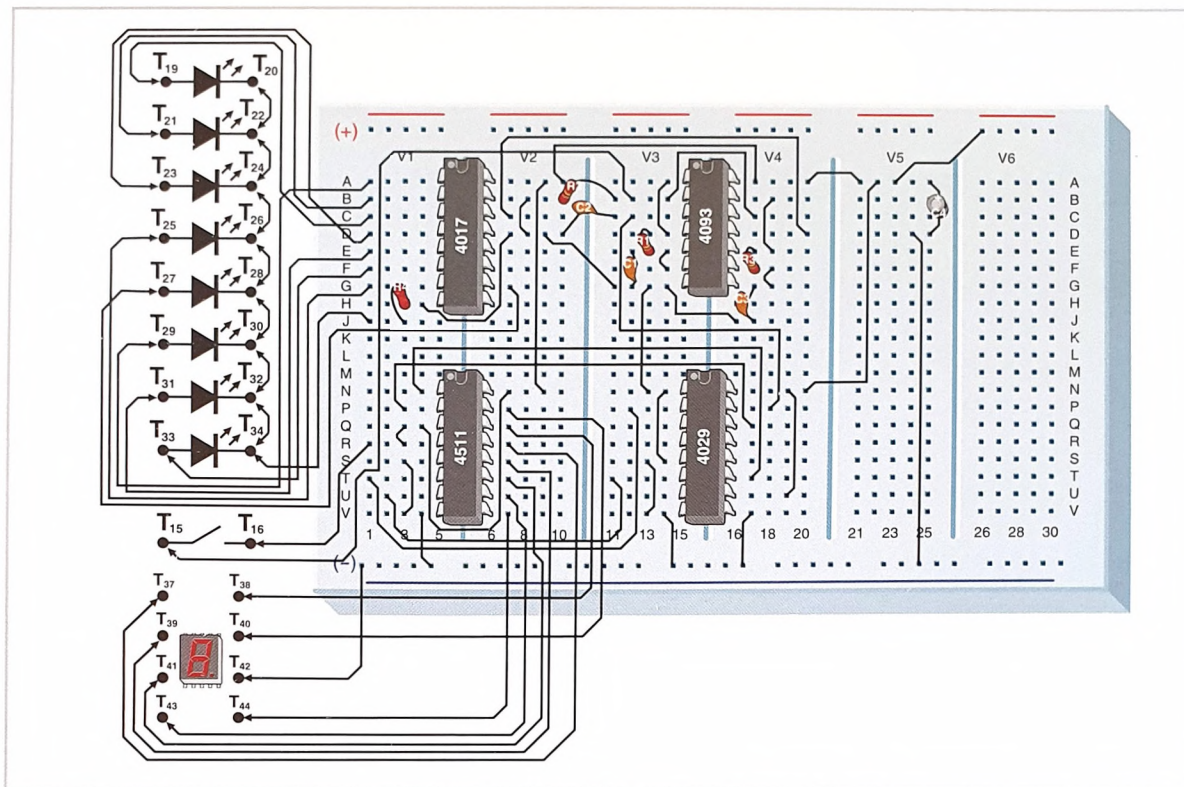
LED sembrano illuminati; lasciando andare il pulsante, uno dei due LED si spegnerà. Dovremo ripetere l'operazione diverse volte prima di utilizzare l'apparecchio, potrebbe infatti risultare, a causa di un possibile errore, che si illumini sempre lo stesso LED. Nel caso in cui il circuito non funzioni si deve rivedere tutto il lavoro compiuto, specialmente le connessioni del circuito integrato, senza dimenticarci che il terminale 7 corrisponde al negativo dell'alimentazione, mentre il terminale 14 corrisponde al positivo.

Esperimenti

Un modo per verificare che il circuito funzioni, è l'utilizzare per C1 un condensatore di capacità più elevata, così da poter vedere l'alternanza dell'illuminazione dei LED. In questo caso, il risultato non sarebbe imprevedibile, perché l'occhio riuscirebbe a captare l'alternanza e tenderemmo a premere il pulsante per giocare "avvantaggiati".

Suggeriamo questo cambiamento solo per osservare il funzionamento del circuito; una volta verificato che tutto vada per il verso giusto, torneremo ad utilizzare l'originaria capacità per il condensatore C1.

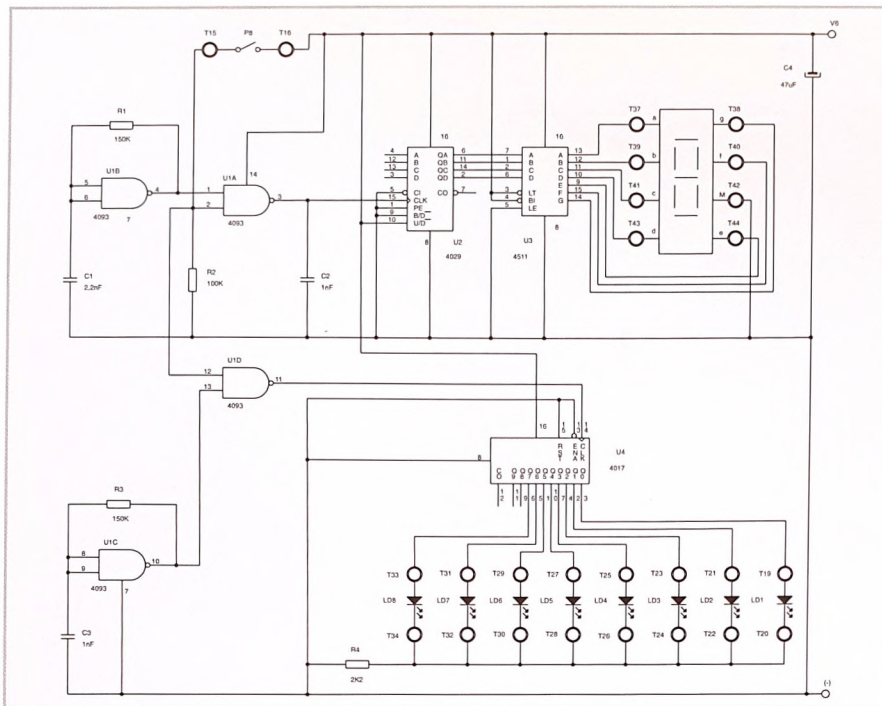
Dado speciale

Si ottiene una cifra da 0 a 8.

Questo circuito può essere utilizzato come un dado un po' originale oppure come base per costruire un gioco d'azzardo. Il circuito ha un display che può presentare una cifra qualunque da 0 a 8 oltre ad avere 8 LED: di questi se ne può illuminare uno qualsiasi o nessuno. Pigiare il pulsante, equivale a scuotere un dado nel suo bussolotto, quindi i numeri appaiono – e i LED si accendono – a una velocità impossibile da seguire ad occhio. Quando si lascia andare il pulsante, sul display si leggerà una cifra e uno dei LED resterà illuminato. Possiamo inventare molti giochi e accumulare punti; per esempio, a ogni cifra del display si può attribuire il suo valore e si può utilizzare ogni LED, conferendogli un determinato valore, per moltiplicare i punti. Potremmo complicare il gioco usando alcuni LED per moltiplicare e altri per dividere i punti apparsi sul display.

Il circuito

Il circuito è costituito da diverse parti, principalmente da un contatore, con il suo corrispondente clock, che, tramite l'integrato di decodifica pilota il display e lo fa avanzare. L'altro contatore è utilizzato per illuminare un LED in sequenza. Inoltre, questo contatore, ha due posizioni in cui non illumina nessun LED: questo succede quando sono attive le uscite Q8 e Q9 di U4, perché non c'è nessun LED collegato ad esse. Il clock del secondo contatore è indipendente dal clock che controlla il primo. La porta U1B del circuito integrato 4093 viene utilizzata come oscillatore astabile e mediante una porta NAND viene collegata all'ingresso del clock del contatore U2. La sua uscita viene collegata a un driver che eccita i sette segmenti, a seconda di quale sia il codice ricevuto dal contatore. L'altro clock viene similmente ottenuto dalla porta U1C del 4093 e tramite un'altra porta NAND viene portato al clock del circuito integrato U4, che è un 4017. Questo integrato attiva una delle uscite e la sposta al ritmo della frequenza del clock. Come abbiamo già detto, ci sono due posizioni che non fanno accendere alcun LED. Le porte NAND U1A e U1D vengono utilizzate per collegare e scollegare i clock a ogni contatore. Quando si

Otto cifre e otto LED

Dado speciale

COMPONENTI	
R1	150 K
R2	100 K
R3	150 K
C1	2,2 NF
C2,	C3 1NF
C4	47 µF
U1	4093
U2	4029
U3	4511
U4	4017
DA LED1 A LED8	
DISPLAY	
P8	

preme il pulsante, il segnale dei clock arriva ai contatori e si può vedere un veloce movimento dei LED e del display; il conteggio deve essere velocissimo, così da non poter capire dove si fermerà. Lasciando libero il pulsante, si inibisce il passaggio del segnale del clock verso i contatori, quindi il conteggio si ferma: può apparire illuminato uno qualunque degli otto LED, oppure nessuno. Sul display comparirà anche una cifra.

Messa in funzione

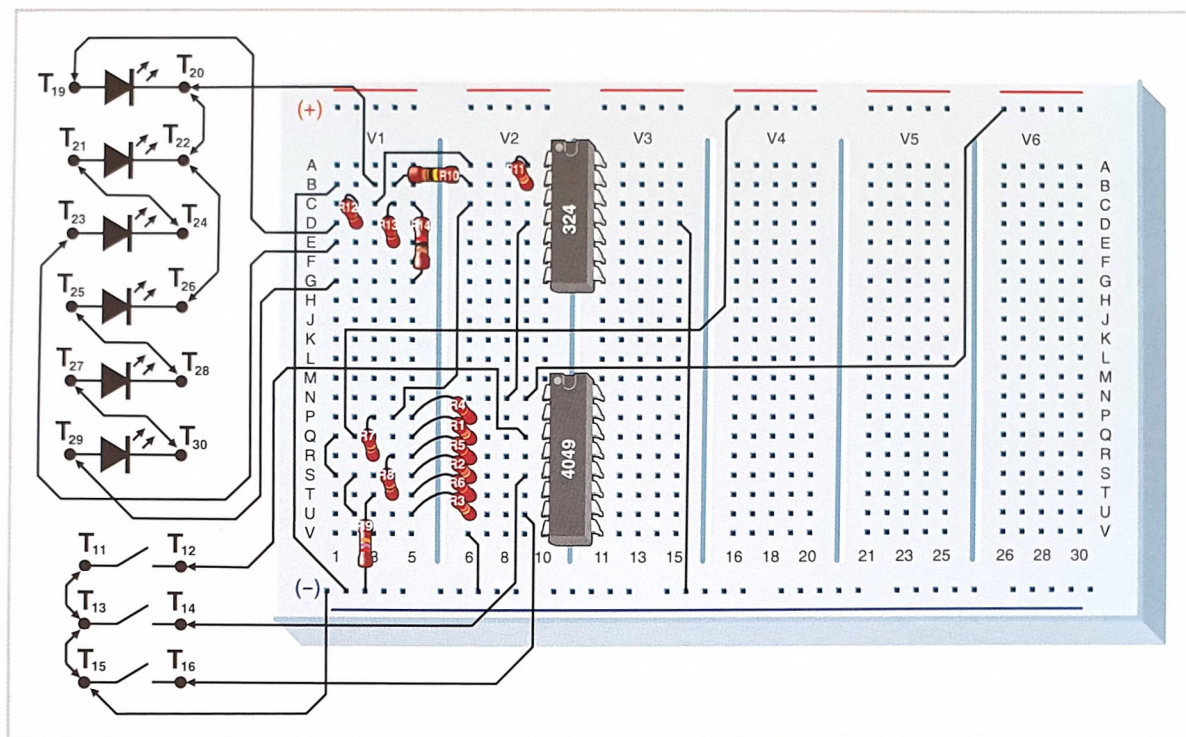
Questo circuito deve poter funzionare fin dalla prima volta, se sono state realizzate correttamente tutte le connessioni. Si deve tenere conto del fatto che, perché il risultato sia buono e imprevedibile, gli oscillatori devono avere una frequenza elevata oltre a essere indipendenti, funzionando quindi a frequenze diverse. Se utilizzassimo lo stesso contatore per entrambi, il risultato potrebbe non essere altrettanto imprevedibile. (Non è possibile utilizzare lo stesso contatore per i led e per il display, uno dei due modi di conteggio non verrebbe più realizzato. Al massimo possiamo dire che, se si utilizzasse la stessa frequenza per entrambi, il risultato sarebbe meno casuale).

Base per progettare giochi d'azzardo.

Esperimento

Per far sì che il risultato sia il più possibile aleatorio, raccomandiamo di utilizzare per gli oscillatori frequenze elevate.

Convertitore D/A sperimentale

La tensione di uscita è proporzionale al numero binario che si forma all'ingresso.

Questo circuito converte un codice binario di tre bit applicato al suo ingresso in un livello di tensione di uscita. I codici d'ingresso vanno da 000, che corrisponde a una tensione di uscita quasi nulla, all'111, che dà la massima tensione di uscita. La rimanenza dei codici corrispondono a valori di tensione intermedi.

L'ingresso del dato si effettua mediante tre pulsanti: P6, P7 e P8. P6 è quello di maggior peso e P8 quello di peso minore. Ogni pulsante è associato a una porta invertente del circuito integrato 4049. In stato di riposo l'uscita di tutte le porte è zero, perché i loro ingressi, essendo collegati al positivo dell'alimentazione con una resistenza di pull-up, sono a livello alto; in questo caso le resistenze sono R1, R2 e R3. Quando viene attivato uno di questi pulsanti, l'uscita della porta corrispondente si pone a livello alto e fornisce tensione all'ingresso della porta non invertente dell'amplificatore operazionale U2A. Ogni pulsante assicura un diverso apporto. La tensione di uscita è proporzionale al codice applicato all'ingresso; per comprendere meglio, diamo un'occhiata alla tavola degli ingressi e delle uscite.

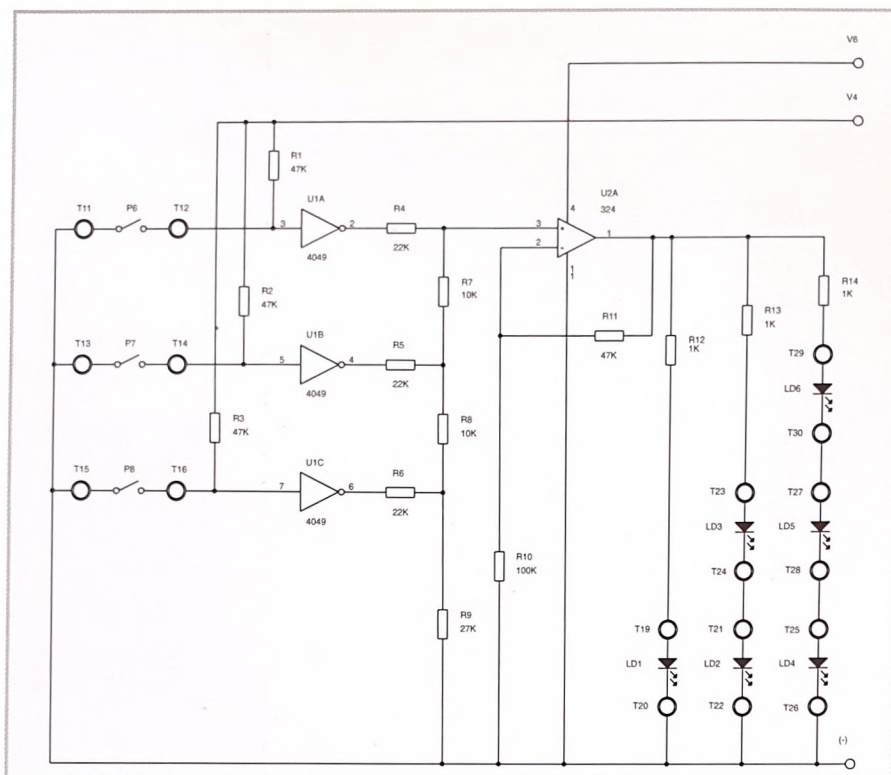
Ingresso digitale, uscita analogica

Il circuito

Il circuito è abbastanza semplice: la prima parte l'abbiamo già spiegata. La seconda parte è costituita da un insieme di LED e resistenze collegati all'uscita dell'amplificatore operazionale; questa ha il compito di verificare che il circuito funzioni senza utilizzare alcun tipo di strumentazione. Più tensione circola attraverso i LED, più questi si illuminano; mentre se la tensione non supera la soglia di conduzione dei diodi collegati in serie, i LED non si illuminano affatto. Applicando all'ingresso il codice 000, non si accende nessun LED; se passiamo alle successive posizioni che corrispondono al codice decimale 1, 2, 3 eccetera, si illumina il LED 1, che aumenta la propria luminosità proporzionalmente all'incremento del conteggio e continuando si accenderanno gli insiemi LD3-LD2 e LD6-LD5-LD4. Una volta illuminati, se il conteggio prosegue, il livello di luce erogato aumenterà.

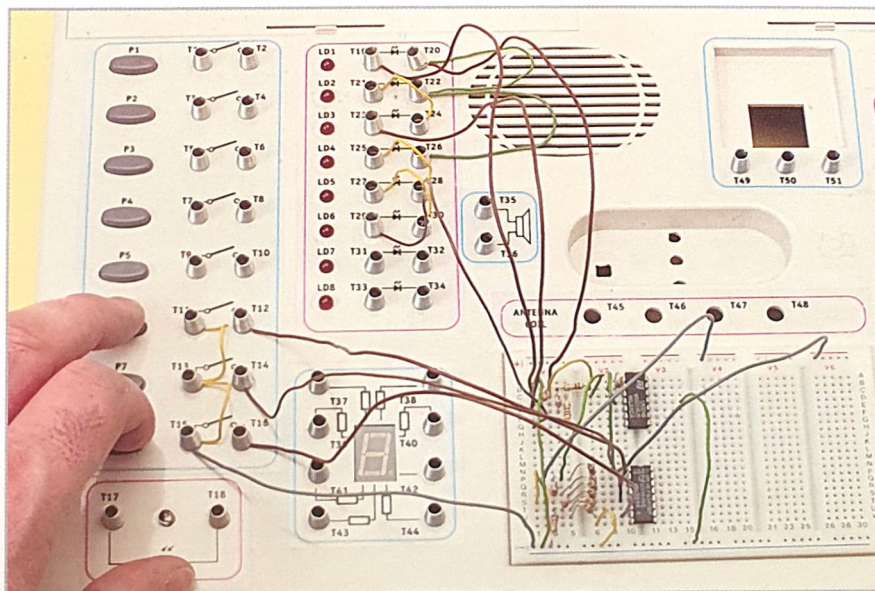
Messa in funzione

Dovremo realizzare attentamente il montaggio per non commettere errori e perché funzioni al

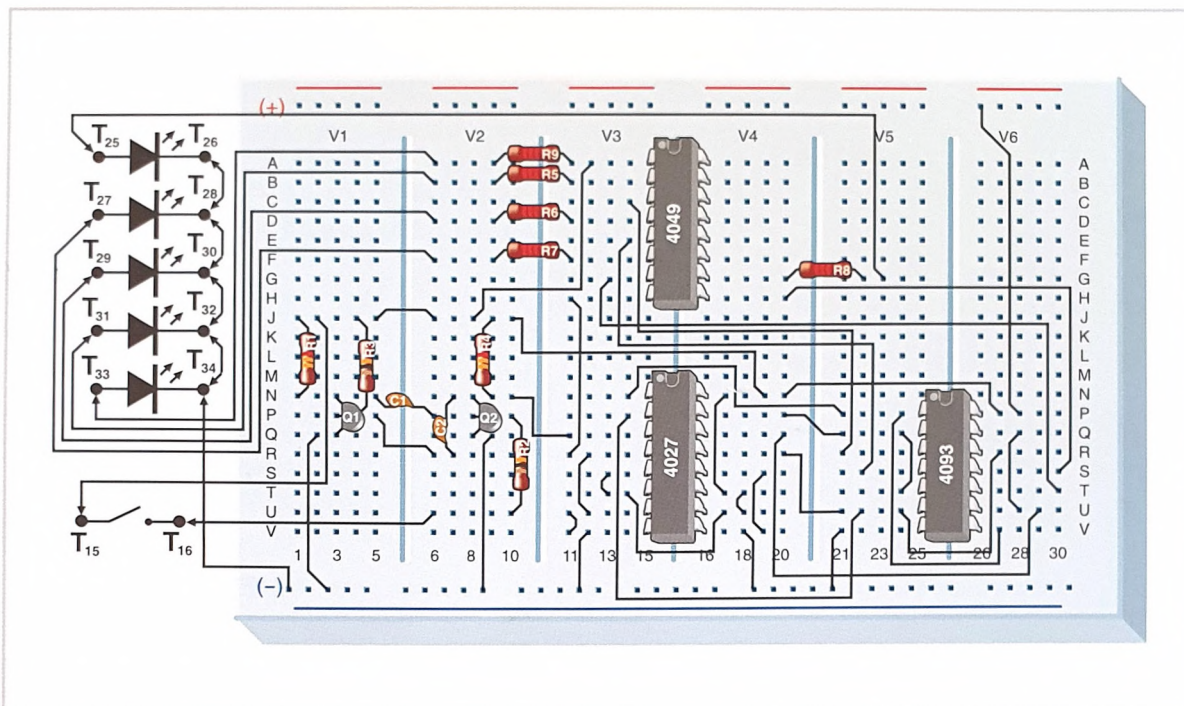
Convertitore D/A sperimentale

COMPONENTI	
R1, R2, R3, R11	47 K
R4, R5, R6	22 K
R7, R8	10 K
R9	27 K
R10	100 K
R12, R13, R14	1K
U1	4049
U2	324
DA LD1 A LD6	
DA P6 A P8	

DIGITALE INGRESSO			ANALOGICA USCITA
P6	P7	P8	Tensione
1	1	1	7X
1	1	0	6X
1	0	1	5X
1	0	0	4X
0	1	1	3X
0	1	0	2X
0	0	1	1X
0	0	0	0

primo tentativo. Le connessioni di alimentazione per il circuito integrato 4049 sono le seguenti: terminale 1 per il positivo e terminale 8 per il negativo. Verifichiamo il circuito agendo sui pulsanti e seguendo l'ordine della tavola: aumentando il conteggio, aumenta la luce dei LED e il numero dei LED che rimangono illuminati.

I valori delle resistenze R4 e R11 non devono essere cambiati. Possiamo provare a cambiare le resistenze di pull-up da R1 a R3 che hanno la funzione di mantenere alto il livello negli ingressi delle porte. Il valore di queste resistenze deve essere quanto più possibile alto, questo perché quando si preme un pulsante si collegano al negativo dell'alimentazione e attraverso di esse circola una corrente che se risulterà alta consumerà in fretta le pile. Possiamo provare a usare qualunque valore tra 47 K e 1 M. I valori possono anche essere diversi fra di loro, senza che il funzionamento del circuito ne venga influenzato, con il vantaggio di ridurre il consumo quando si azionano i pulsanti.

La tensione di uscita aumenta incrementando il numero all'ingresso: si illuminano più LED e con maggior intensità.

Gioco con quattro LED

Rilasciando i pulsanti si illumina uno dei diodi LED.

Facendo degli esperimenti con dei circuiti logici, si possono costruire diversi giochi, e progettandoli in maniera adeguata, si possono ottenere dei risultati casuali e li si può considerare giochi d'azzardo.

Perché godano di questo "status", si devono utilizzare frequenze elevate per evitare di influenzare il risultato finale.

Funzionamento

Questo circuito utilizza solo quattro LED per il suo funzionamento, quelli che vanno da LD4 a LD7. L'altro LED, LD8, si usa come spia di alimentazione e, sebbene consumi, è utile per non dimenticare di scollegare l'alimentazione.

Quando si collega l'alimentazione il LED LD8 si illumina e rimane in questo stato per tutta la durata dell'alimentazione. Se si mantiene premuto P8, si illuminano gli altri quattro LED, ma con minore intensità, a causa del fatto che si stanno illuminando e spegnendo a una velocità superiore a quella che l'occhio può seguire.

Liberando il pulsante P8, rimane illuminato un LED. Possiamo inventare diversi giochi conoscendo questo tipo di funzionamento: ogni volta che si preme, si illuminerà uno dei quattro LED che formano il gioco, in maniera tale da non poter predire quale.

Il circuito

Il circuito è costituito da diverse parti, la prima è formata da due transistor e alcuni componenti diversi che formano un oscillatore astabile, il quale entra in funzione quando si preme P8 e smette di oscillare quando lo si libera.

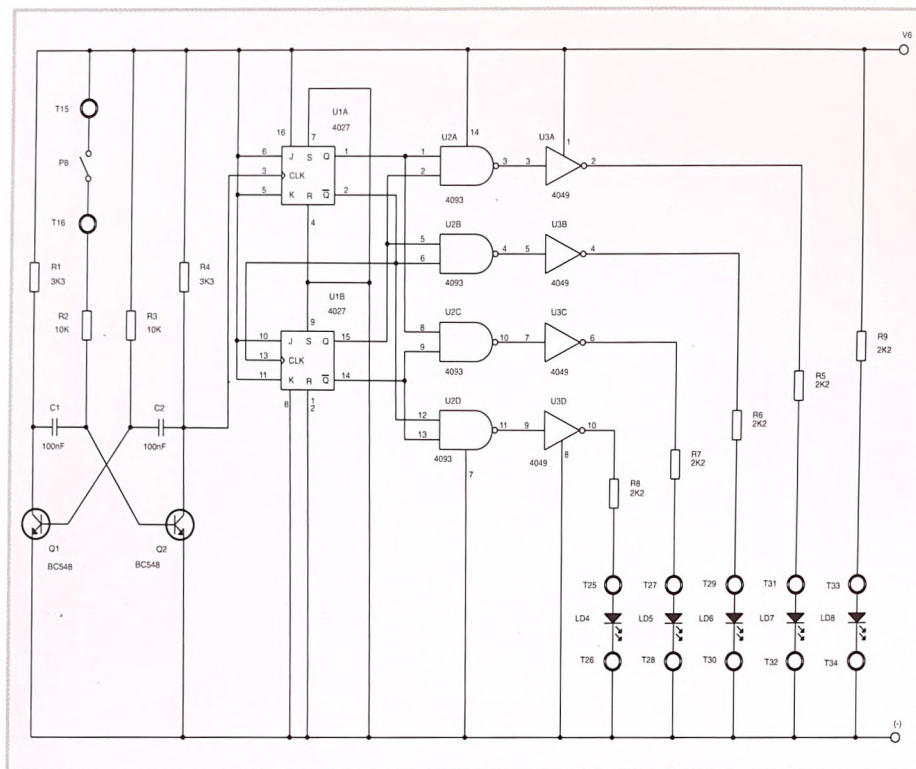
Il circuito integrato U1 si utilizza per costruire un contatore semplicissimo e le porte NAND si usano perché si illumini un unico diodo LED, ma, dato che hanno l'uscita negata, bisogna inserire a valle di ciascuna di queste uscite un invertitore del 4049.

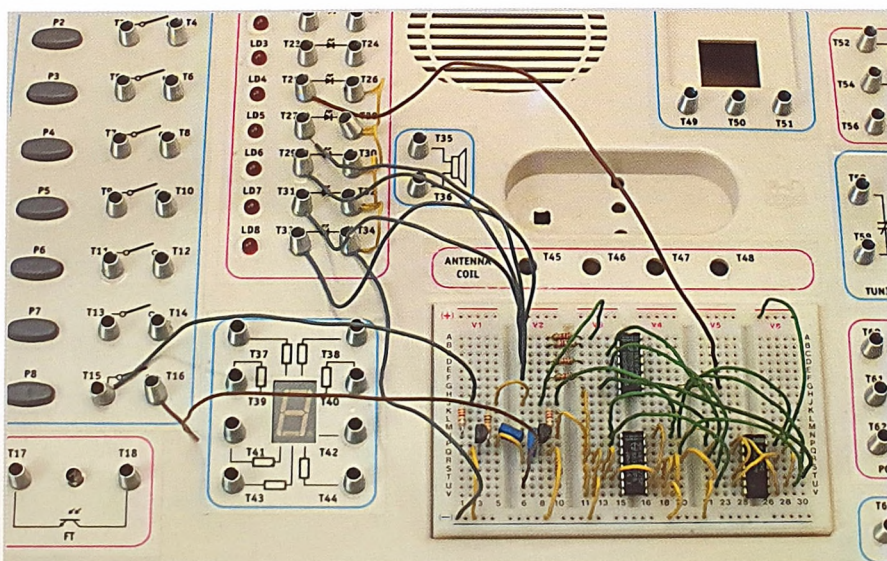
Se non si fa così, il circuito funzionerà ugualmente, ma con la differenza che si spegnerà solamente un diodo LED e gli altri tre rimarranno illuminati.

Un gioco d'azzardo?

Il montaggio

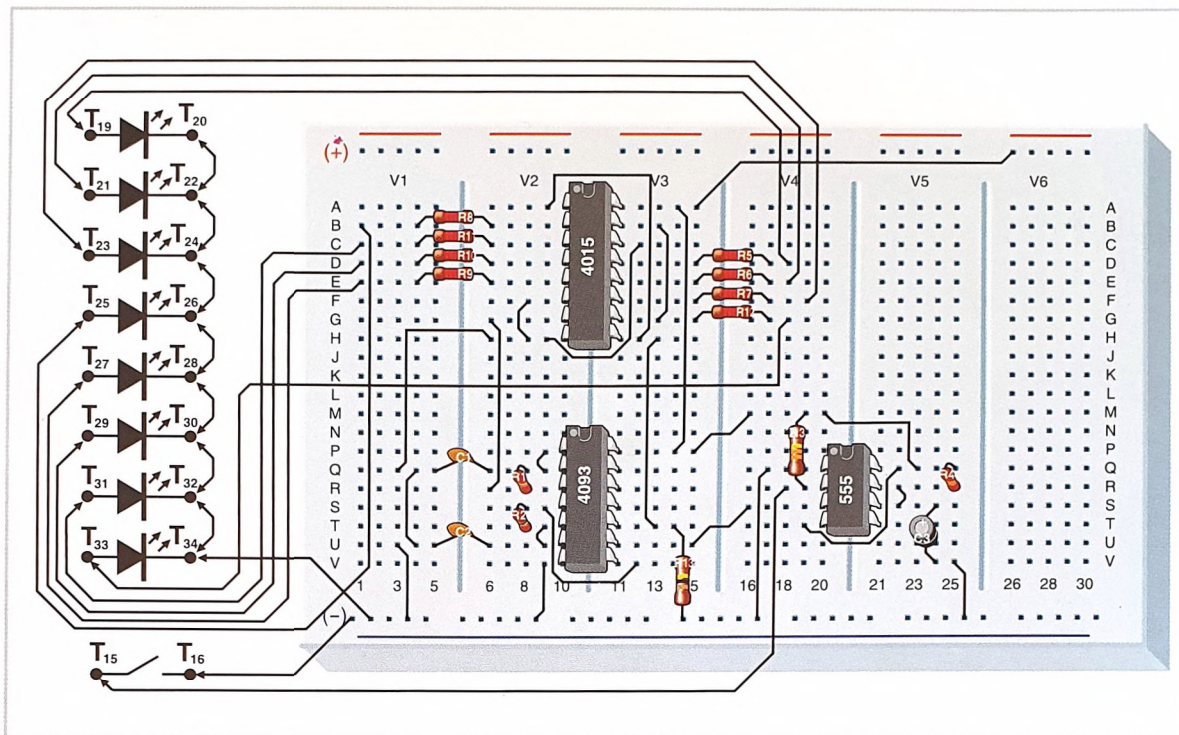
La realizzazione pratica di questo esperimento non è molto complicata, ma per non sbaglia-

Gioco con quattro LED

COMPONENTI	
R1, R4	3K3
R2, R3	10 K
R5, R6, R7, R8, R9	2K2
C1, C2	100 nF
Q1, Q2	BC548
U1	4027
U2	4093
U3	4049
DA LD4 A LD8	
P8	

re bisogna realizzarla con attenzione.
Non ci sono elementi dotati di polarità, ma bisogna inserire i circuiti integrati in maniera tale che risultino orientati correttamente, facendo molta attenzione alla tacca di riferimento e verificando che i suoi terminali entrino esattamente in verticale nella piastra dei prototipi. Dopo, lo spingeremo in basso per assicurare il contatto.

Bisogna cercare di indovinare quale LED rimarrà illuminato quando avremo lasciato andare il pulsante.

Esperimenti

L'esperimento più raccomandabile è cambiare alcuni valori dell'oscillatore, per esempio quello dei condensatori di maggior capacità e delle resistenze più alte; l'oscillatore, funzionando più lentamente, permetterà di verificare la sequenza seguita dai LED. Torneremo ai valori iniziali, una volta realizzata la verifica, perché il risultato del gioco sia imprevedibile.

La temporizzazione simula il lancio dei dadi.

Il circuito è un gioco nel quale si genera una combinazione di 8, 1 e 0 da indovinare. Prima di azionare la temporizzazione, dovremo predire quale sarà la combinazione destinata a uscire. In seguito azioneremo il pulsante e dopo circa 2 secondi apparirà nei diodi LED una sequenza casuale di 1 e 0.

Possiamo utilizzare il circuito come se fosse un dado: dobbiamo premere e aspettare.
È possibile anche ottenere come risultato lo 0, con tutti i LED spenti.

Il circuito

L'oscillatore costruito con la porta U1A è incaricato di generare un segnale di circa 10 kHz che servirà come segnale dei dati.

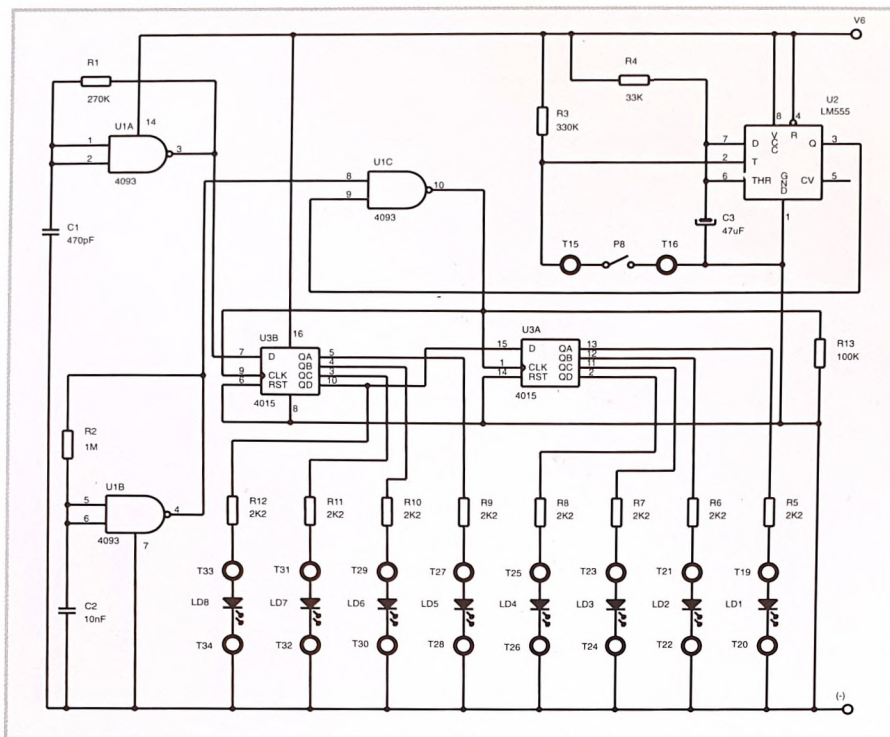
Da parte sua il generatore formato dalla porta U1B, costruito anche con una porta NAND del tipo 4093, è molto più lento: circa 125 Hz. Il circuito integrato U2, un 555, è configurato per lavorare come temporizzatore monostabile attivato dalla pressione di P8. Quando l'uscita di questo monostabile è attiva, all'ingresso del clock del 4015 entreranno impulsi a una frequenza che stabilisce l'oscillatore della porta U1B attraverso la porta U1C. Ma dato che l'oscillatore ha una frequenza elevata, è quasi impossibile riuscire a predire quale dato entrerà nel registro. Se l'uscita del monostabile è in stato di riposo, sarà a livello basso, per cui nella porta U1C l'uscita sarà a livello alto fisso e il 4015 rimarrà con le sue uscite fisse.

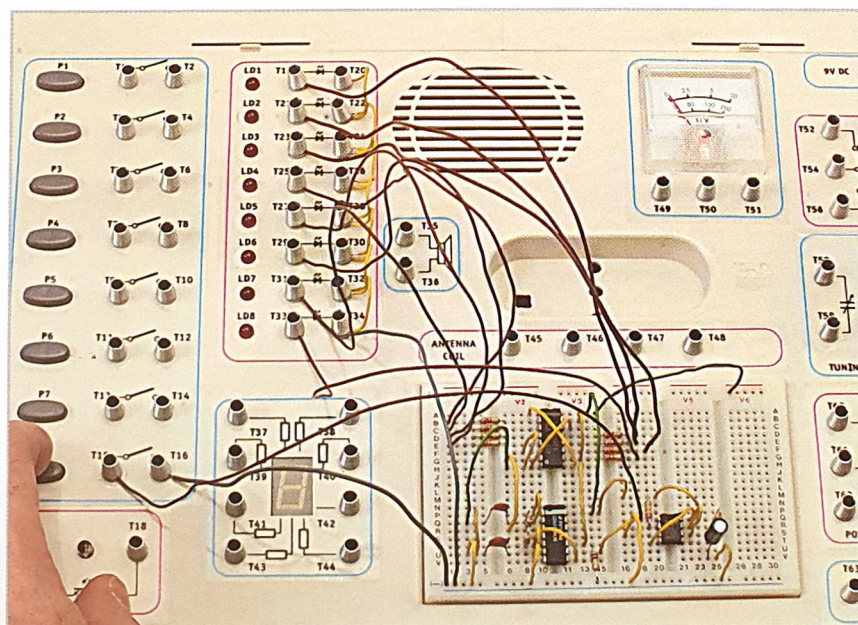
I due registri di spostamento da 4 bit del 4015 sono collegati a catena per costituire un registro da 8 bit. A tale scopo uniremo gli ingressi del clock e l'uscita QD di U3B con l'ingresso D di U3A, la combinazione dell'uscita apparirà direttamente nei LED.

Funzionamento

La cosa più importante di questo circuito è riuscire a far sì che le uscite siano indipendenti e il più possibile imprevedibili. Abbiamo quindi generato una frequenza elevata dalla quale vengono presi i dati a una bassissima frequenza di clock. Quando si aziona P8, si produce una temporizzazione di circa 2 secondi durante i quali l'ingresso dei dati cambia. Non sappiamo quale va-

Può uscire anche lo 'zero'

Speciale gioco elettronico

COMPONENTI	
R1	270 K
R2	1M
R3	330 K
R4	33 K
DA R5 A R12	2K2
R13	100 K
C1	470 pF
C2	10 nF
C3	47 µF
U1	4093
U2	555
U3	4015
DA LD1 A LD8	
P8	

lore potremo leggere perché i due oscillatori sono indipendenti e con frequenze molto diverse. Quando la temporizzazione finisce, nel registro rimangono le ultime 8 letture. Al momento di fare un'altra scommessa azioneremo P8: l'uscita potrà essere una qualunque, perché esistono moltissime possibilità diverse che rendono il circuito quasi totalmente imprevedibile.

I LED non si stabilizzano fino a quando la temporizzazione non termina.

Messa in funzione

Il circuito non deve funzionare quando gli colleghiamo l'alimentazione. Per farlo funzionare dovremo azionare P8 e aspettare meno di 2 secondi.

Prima di azionare il pulsante dovremo annotare quale sia la combinazione pronosticata. Premeremo allora P8 e verificheremo se il risultato coincide con la nostra previsione. Dato che è difficilissimo azzeccarla e per dare al gioco un incentivo, si potrà puntare su ogni singolo LED.

Gioco di luci programmabile

La sequenza di accensione viene programmata con dei ponti.

Il circuito presentato in questo esperimento è un programmatore di una sequenza di accensione di diodi LED: esso si ripete in modo ciclico, e si sposta a una velocità imposta dall'oscillatore astabile. I LED sono collegati alle uscite del doppio registro di spostamento del circuito integrato 4015.

Il circuito

Le porte U5A e U5B compongono un oscillatore astabile con una frequenza di uscita abbastanza bassa. Questo segnale serve da clock sia per il circuito 4017 che per il circuito 4015.
Il 4017 viene utilizzato come sequenziatore: grazie ad esso, cioè, si configura la sequenza di accensione dei LED, funzione dei ponti inseriti tra J1 e J8. Le porte U2A, U2B, U2C, U3A, U3B, U3C, U3D e U5C costituiscono una porta OR a otto entrate, la quale, se non vi è stato inserito nessun ponte, ha tutti gli ingressi a livello basso grazie alle resistenze da R9 a R16. In questo modo non si illuminerà nessun diodo LED.

I due registri di spostamento a quattro bit che costituiscono il 4015 vanno collegati a catena per formare un registro da otto bit le cui uscite si collegano direttamente ai LED da LD1 a LD8 mediante delle resistenze limitatrici della corrente, da R1 a R8.

La sequenza si ripete continuamente

Funzionamento

Facciamo un esempio per comprendere il funzionamento del circuito.

Si inseriscono i ponti J1, J4, J6 e J8. La sequenza all'ingresso della porta OR sarà quindi: J8 = 1, J7 = 0, J6 = 1, J5 = 0, J4 = 1, J3 = 0, J2 = 0 e J1 = 1. Questa sequenza apparirà a ogni impulso del clock: al primo impulso, cioè, che arriva all'uscita della rete logica che simula la porta OR (terminale 10 di U3D) apparirà il dato '1' corrispondente al ponte J8 (posto '1', risultato '1'). Questo dato entrerà dall'ingresso D e apparirà all'uscita QA del registro U4A. Al successivo impulso del clock all'ingresso del registro apparirà il dato '0' corrispondente al ponte J7 (risultato = 0) per cui passerà a QA di U4A, mentre il dato precedente che c'era in QA passerà a QB.

Tutto ciò si ripeterà a ogni ciclo del clock fino ad arrivare all'ottavo impulso con il quale si sarà completata la sequenza e avremo sui diodi LED da LD8

Gioco di luci programmabile

COMPONENTI	
Da R1 a R8	2K2
R9, R10	120 K
Da R11 a R16	100 K
R17	1 M
R18	180 K
C1	4,7 µF
U1	4017
U2	4025
U3	4049
U4	4015
U5	4001
Da LD1 a LD8	

a LD1 l'informazione di partenza configurata con i ponti da J8 a J1. Dato che l'oscillatore non si ferma, la sequenza tornerà a ripetersi nuovamente ogni otto impulsi del clock.

Le resistenze da R9 a R16 se non vengono inseriti dei ponti tengono gli ingressi a 'zero'.

Messa in funzione

Una volta completato il montaggio del circuito, non rimane altro da fare se non dare un'occhiata alle connessioni, numerosissime, facendo particolare attenzione alle più critiche: quelle dell'alimentazione degli integrati.

In seguito inseriremo i ponti in J1, J4, J6 e J8. Perché funzioni, a questo punto, possiamo collegare l'alimentazione del circuito.

Dopo otto impulsi, negli otto LED apparirà la sequenza programmata; essa si ripeterà nuovamente, senza fermarsi, ogni otto impulsi del clock.

Esperimenti

Possiamo mutare la velocità di spostamento dei LED, cambiando i valori della resistenza R18 e/o del condensatore C1.